



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Міністерство освіти і науки України

**Національний університет водного господарства та
природокористування**

**В. О. МАЛАЩЕНКО, В. М. СТРИЛЕЦЬ,
О. Р. СТРИЛЕЦЬ, В. А. ФЕДУРУК**



Національний університет
водного господарства
та природокористування

НОВІ МУФТИ МЕХАНІЧНИХ ПРИВОДІВ МАШИН

Монографія

Рівне 2019



Національний університет

УДК 621.8:621.825

Н73

Рецензенти:

Гуліда Е.М., доктор технічних наук, професор Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, м. Львів;

Кравець С.В., доктор технічних наук, професор Національного університету водного господарства та природокористування, м. Рівне;

Пасіка В.Р., доктор технічних наук, професор Національного університету «Львівська політехніка», м. Львів.

*Рекомендовано вченою радою Національного університету
водного господарства та природокористування.*

Протокол № 7 від 18 грудня 2018 р.

Н73 Нові муфти механічних приводів машин : монографія /
В. О. Малащенко, В. М. Стрілець, О. Р. Стрілець, В. А. Федорук. –
Рівне : НУВГП, 2019. – 189 с.

ISBN 978-966-327-413-3

У монографії наведено нові муфти для з'єднання валів механічних приводів машин, їх будову і принцип роботи під час передавання обертальних моментів, а також основні методи розрахунків пружних елементів запропонованих муфт.

Монографія може бути використана для підготовки бакалаврів машинобудівного профілю, спеціалістів, магістрів та інших технічних і наукових працівників, які займаються розрахунками і конструюванням нових технічних засобів.

УДК 621.8:621.825

ISBN 978-966-327-413-3

© В. О. Малащенко, В. М. Стрілець,
О. Р. Стрілець, В. А. Федорук, 2019

© Національний університет
водного господарства та
природокористування, 2019



ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ЗАУВАЖЕННЯ ЩОДО КЛАСИФІКАЦІЇ МУФТ.....	5
1. НЕКЕРОВАНІ МУФТИ	6
1.1. Втулкові пружні-запобіжні муфти.....	6
1.2. Компенсувальні кулачково-дискові муфти.....	11
1.3. Компенсувальна зубчаста муфта.....	15
1.4. Компенсувальні пружні муфти	16
1.5. Муфти пружні з підковоподібними пружинами.....	18
1.6. Муфти пружні з зіркоподібними пружинами.....	36
2. КЕРОВАНІ МУФТИ.....	42
2.1. Гідравлічна муфта.....	42
3. САМОКЕРОВАНІ МУФТИ.....	46
3.1. Відцентрово-фрикційні муфти.....	46
3.2. Інерційно-вакуумні муфти.....	56
3.3. Інерційно-пневматичні муфти.....	65
3.4. Інерційно-фрикційні муфти зчеплення.....	69
3.5. Пружні інерційно-фрикційні муфти.....	90
4. СПЕЦІАЛЬНІ МУФТИ.....	104
4.1. Еластичні муфти.....	104
4.2. Пружна планетарна муфта.....	114
4.3. Муфти кулькові-пружні запобіжні.....	117
4.4. З'єднання валів карданних передач.....	120
4.5. З'єднання валів на опорі.....	126
5. РОЗРАХУНКИ ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МУФТ.....	128
5.1. Розрахунки профільних втулок.....	128
5.2. Розрахунок підковоподібних пружин.....	134
5.3. Розрахунок зіркоподібних пружин.....	142
5.4. Розрахунок пружин у вигляді спіралі Архімеда.....	151
5.5. Динамічні розрахунки пружних муфт.....	155
ВИСНОВКИ.....	165
ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ СЛОВНИК.....	166
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК.....	169
ЛІТЕРАТУРА.....	170



ВСТУП

В сучасному машинобудуванні для з'єднання валів і передавання обертальних моментів широко використовуються різноманітні муфти. Вони є достатньо відповідальними механічними пристроями, що часто визначають надійність і довговічність всієї машини. Тобто муфти належать до пристроїв, без яких неможливе сучасне машинобудування.

При передаванні руху і обертальних моментів від одного вала до другого муфти виконують ще інші відповідальні функції, а саме:

- компенсацію шкідливого впливу зміщення геометричних осей кінців валів, що виникають унаслідок неточностей виготовлення, монтажу або конструктивних особливостей та умов експлуатації;
- амортизацію вібрацій, поштовхів та ударів, що виникають під час експлуатації механічних приводів;
- забезпечення швидкого з'єднання та роз'єднання валів машин без зупинки двигуна;
- полегшення пуску машини;
- обмеження швидкості руху;
- захист деталей механічних приводів від перевантажень;
- передавання руху тільки у одному напрямку.

Такі різноманітні експлуатаційні вимоги сприяли появі великої кількості конструкцій муфт різних видів. Вдала класифікація існуючих конструкцій муфт наведена у [7].

У даній монографії наведено удосконалені та нові конструкції муфт для з'єднання валів, їх будову і роботу при передаванні обертальних моментів. Здебільшого це муфти, що розроблені на рівні патентів на винаходи і корисні моделі, як правило, з пружними елементами, які дозволяють гасити коливання динамічних навантажень, або такі, що запобігають передавання перевищених обертальних моментів.

Монографія буде корисною для підготовки бакалаврів, спеціалістів і магістрів машинобудівної галузі при вивченні муфт у дисципліні «Деталі машин», а також для проектувальників, які займаються створенням різної нової техніки.

Автори дякують рецензентам докторам технічних наук, професорам Гуліді Е.М., Кравцю С.В. та Пасіці В.Р. за надану допомогу та зауваження, що направлені на поліпшення монографії.



Для з'єднання кінців валів застосовують різноманітні муфти за конструктивним виконанням, призначенням, принципом дії, способами керування тощо. Відомі різні класифікації муфт [7], серед яких є повніша, а [1; 2; 4-6; 17; 20-22] дещо спрощені.

В даній монографії за основу взята класифікація [7], яка механічні муфти поділяє на чотири класи (ДСТУ 2278-93): некеровані, керовані, самокеровані, комбіновані та спеціальні і поповнена новими муфтами. Для більшої зручності користування у навчальному процесі та під час проектування і розробки муфт подається розкриття груп: глухі, компенсувальні, пружні. Спеціальними муфти прийнято називати тому, що їх сьогодні розроблено тільки на рівні патентів та не висвітлено в літературі. Такі муфти можуть бути перспективними та розширити знання студентів під час вивчення дисципліни «Деталі машин» і інших інженерних дисциплін, а також для наукової роботи під час виконання курсового проекту. Окрім того, вони можуть бути об'єктом для наукової роботи аспірантів, здобувачів та конструкторів виробництв.

Усі класи приведеної класифікації механічних муфт (рис. 1) поповнені новими конструкціями муфт, розроблених авторами на рівні патентів України на винаходи і корисні моделі [45-142].

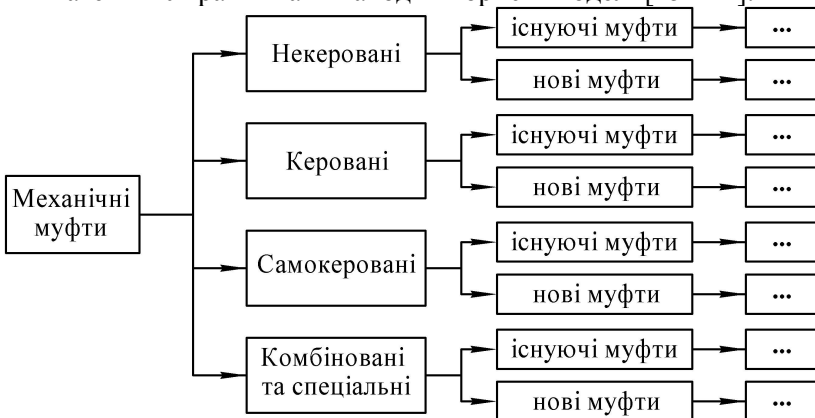


Рис. 1. Уточнена класифікація муфт



1. НЕКЕРОВАНІ МУФТИ

1.1. Втулкові муфти

Втулкові муфти [7] утворюють жорстке і нерухоме з'єднання валів, геометричні осі яких збігаються. Вони застосовуються у приводах змонтованих на жорстких основах. Втулки з валами з'єднуються штифтами, шпонками або шліцями. Основними недоліками таких муфт є велика жорсткість, тому обертальний момент від одного вала до другого передається миттєво, тобто ударно, а із-за незначного неспівпадання збігання осей валів, виникають додаткові навантаження на опори від деформації згину.

Для усунення вказаних недоліків запропоновані муфти [123-126], які володіють пружними і запобіжними властивостями.

Муфта втулкова запобіжна пружна [123] (рис. 1.1) виконана в вигляді профільної втулки 1 з поперечним перетином рівностороннього трикутника 2, вершини 3 якого винесені назовні і мають, наприклад, підковоподібний обрис. На вихідних ділянках 4 і 5 відповідно ведучого 6 і веденого 7 валів виконані лиски 8 під грані 9 рівностороннього трикутника 2 профільної втулки 1.

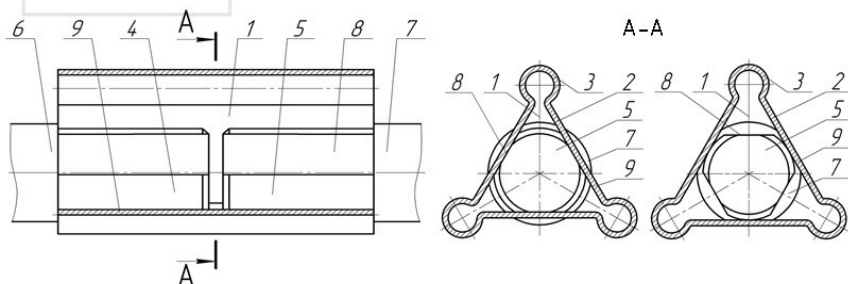


Рис. 1.1. Муфта втулкова з профілем рівностороннього трикутника

При з'єднанні валів 6 і 7 на них встановлюють муфту у вигляді профільної втулки 1 з поперечним перетином рівностороннього трикутника 2 на вихідні ділянки відповідно 4 і 5 на яких виконані лиски 8 під грані 9 рівностороннього трикутника 2.

Муфта втулкова запобіжна пружна працює так. При обертанні ведучого вала 6 обертальний момент передається на ведений вал 7 через пружну профільну втулку 1. Збільшення



обертального моменту приводить до деформації пружної профільної втулки 1 із-за розтискання її граней 9 і підковоподібних вершин 3 рівностороннього трикутника 2. Тому обертальний момент від ведучого вала 6 до веденого вала 7 передається порівняно м'яко. При збільшенні та перевищенні максимального обертального моменту пружна профільна втулка 1 розтискається за рахунок деформації граней 9 і пружних підковоподібних вершин 3 до такої величини, що вал ведучий 6 або ведений 7 провертається у пружній профільній втулці 1, обертальний момент не передається – виконується запобіжна функція муфти. При зменшенні обертального моменту муфта повертається у початкове положення.

Муфта втулкова запобіжна пружна [124] (рис. 1.2) виконана в вигляді пружної профільної втулки 1 з поперечним перетином квадрата 2, вершини 3 якого винесені назовні і мають, наприклад, підковоподібний обрис. На вихідних ділянках 4 і 5 відповідно ведучого 6 і веденого 7 валів виконані лиски 8 під грані 9 квадрата 2 пружної профільної втулки 1.

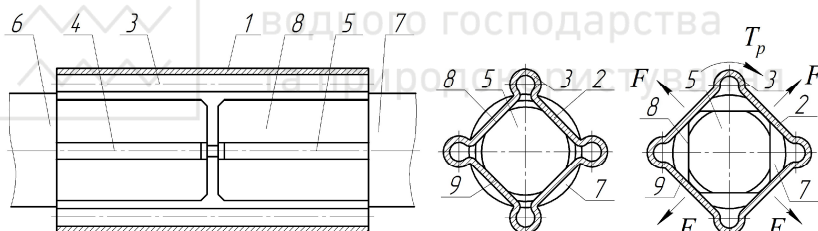


Рис. 1.2. Муфта втулкова з профілем квадрата

При з'єднанні ведучого вала 6 і веденого вала 7 на них встановлюють муфту у вигляді пружної профільної втулки 1 з поперечним перетином квадрата 2 на вихідні ділянки відповідно 4 і 5 на яких виконані лиски 8 під грані 9 квадрата 2.

Принцип роботи цієї муфти подібний до попередньої. При обертанні ведучого вала 6, через пружну профільну втулку 1, передається обертальний момент на ведений вал 7. Збільшення обертального моменту приводить до деформації втулки 1 із-за розтискання її граней 9 і підковоподібних вершин 3 квадрата 2. Тому обертальний момент від ведучого вала 6 до веденого вала 7 передається порівняно м'яко. При збільшенні та перевищенні



максимального обертового моменту пружна профільна втулка 1 розтискається за рахунок деформації граней 9 і пружних підковоподібних вершин 3 до такої величини, що вал ведучий 6 або ведений 7 прокручується у пружній профільній втулці 1, обертальний момент не передається – виконується запобіжна функція муфти. При зменшенні обертового моменту муфта повертається у початкове положення.

В якості профільних можуть бути втулки інших раціональних перетинів, наприклад, правильного шестикутника. Для валів з вихідними кінцями під шпонки або шліци розроблена перехідна профільна втулка.

У цьому разі муфта втулкова запобіжна пружна [126] (рис. 1.3) виконана у вигляді профільної пружної втулки 1 з поперечним перетином рівностороннього трикутника 2, або квадрата 3, або іншого раціонального перетину, вершини 4 якого винесені назовні і мають, наприклад, підковоподібний обрис. На вихідних ділянках 5 і 6 відповідно ведучого 7 і веденого 8 валів встановлені перехідні втулки 9 і 10 та з'єднані з валами 7 і 8, наприклад, шпонками 11. На зовнішніх поверхнях перехідних втулок 9 і 10 виконані лиски 12 під грані 13 рівностороннього трикутника 2, або грані 14 квадрата 3 втулки 1. Від осевого зміщення втулка 1 зафіксована шайбами 15 і 16.

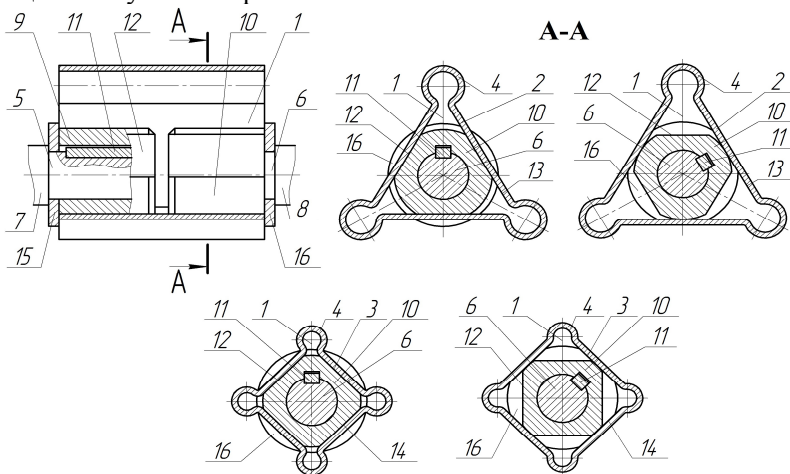


Рис. 1.3. Муфта втулкова з перехідною профільною втулкою



Під час з'єднання валів 7 і 8 на їх вихідні ділянки 5 і 6 встановлюють шайби 15 і 16, шпонки 11, перехідні втулки 9 і 10 з лисками 12 під грані 13 рівностороннього трикутника 2, або під грані 14 квадрата 3. Далі встановлюють профільну пружну втулку 1 на перехідні втулки 9 і 10 з поперечним перетином рівностороннього трикутника 2 або квадрата 3. Після цього муфта втулкова запобіжна пружна готова до роботи.

Функціонування цієї муфти відбувається так. При обертанні ведучого вала 7, через шпонку 11, перехідну втулку 9, профільну пружну втулку 1, перехідну втулку 10, шпонку 11 обертальний момент передається на ведений вал 8. Зростання обертального моменту більшого за максимальний приводить до деформації профільної пружної втулки 1 із-за розтискання її граней 13, коли профіль у вигляді рівностороннього трикутника, або граней 14, коли профіль – квадрат, і підковоподібних вершин 4. Тому обертальний момент від ведучого вала 7 до веденого вала 8 передається м'яко із-за пружних деформацій профільної пружної втулки 1 та її підковоподібних вершин 4. При збільшенні та перевищенні максимального обертального моменту профільна пружна втулка 1 розтискається за рахунок деформації граней 13 або 14 і пружних підковоподібних вершин 4 до такої величини, що вал ведучий 7 або ведений 8 прокручується у профільній пружній втулці 1, обертальний момент не передається – виконується запобіжна функція муфти. При зменшенні обертального моменту муфта повертається у початкове положення.

Муфта втулкова запобіжна пружна [123] (рис. 1.4) виконана в вигляді пружної профільної втулки 1 з поперечним перетином квадрата 2, вершини 3 якого винесені назовні і мають, наприклад, підковоподібний обрис, на одному торці втулки 1 від граней 4 квадрата 2 до середини відігнуті пелюстки 5, так що утворюють хрестоподібну проекцію осесиметрично відносно осі. На торці 6 ведучого вала 7 виконані навхрест пази 8 осесиметрично відносно осі, а на вихідній ділянці 9 веденого вала 10 виконані лиски 11 під грані 4 квадрата 2 пружної профільної втулки 1.

Таку муфту монтують за такою послідовністю. У виконані навхрест пази 8 на торці 6 ведучого вала 7 встановлюють пелюстки 5 пружної профільної втулки 1 з осьовим зазором 12 і закріплюють шайбою 13 і гвинтом 14. Далі пружну профільну втулку 1 встановлюють на вихідну ділянку 9 веденого вала 10 так, що грані 4 взаємодіють з лисками 11.

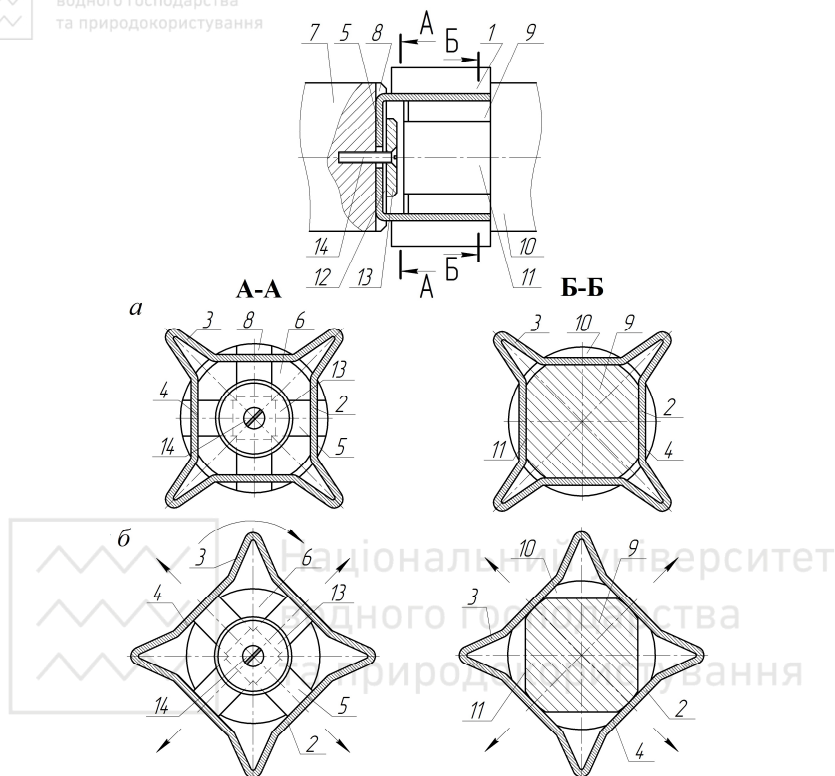


Рис. 1.4. Муфта втулкова запобіжна пружна: *а* – перетини А-А і Б-Б – передається обертальний момент менший максимального; *б* – перетини А-А і Б-Б – передається обертальний момент більший максимального

Муфта втулкова запобіжна пружна працює так. При обертанні ведучого вала 7, через пелюстки 5 обертальний момент передається до пружної профільної втулки 1, а далі через взаємодію граней 4 з лисками 11 веденому валу 10. Збільшення обертового моменту приводить до деформації пружної профільної втулки 1 із-за розтискання її граней 4 і підковоподібних вершин 3 квадрата 2. Тому обертальний момент від ведучого вала 7 до веденого вала 10 передається порівняно м'яко. При збільшенні та перевищенні максимального обертового моменту пружна профільна втулка 1 розтискається за рахунок деформації граней 4 і пружних підковоподібних вершин 3 до такої величини, що вал ведений 10



прокручується у втулці 1, обертальний момент не передається – виконується запобіжна функція муфти. При зменшенні обертального моменту муфта повертається у початкове положення.

Муфта втулкова запобіжна пружна розширює функції, які може виконувати втулкова муфта, крім з'єднання валів і передавання обертальних моментів, є пружною і запобіжною, передає обертальні моменти м'яко та запобігає передавання обертальних моментів більших за максимальні.

Основні питання, які потрібно вирішити для втулкових пружних запобіжних муфт покажемо на прикладі профільної квадратної втулки.

Зрозуміло, що створення нових муфт вимагає детальної розробки їх складових частин. Тому необхідно володіти відомими методами комп'ютерного 3-D моделювання, наприклад [3], деталей муфт, щоб розробляти конструкції та процес їх виготовлення. На рис. 1.5 показані моделі нової втулкової муфти, на прикладі профільної квадратної втулки.

При потребі за основною схемою призначаються параметри, виготовляються окремі елементи та складається необхідна муфта.

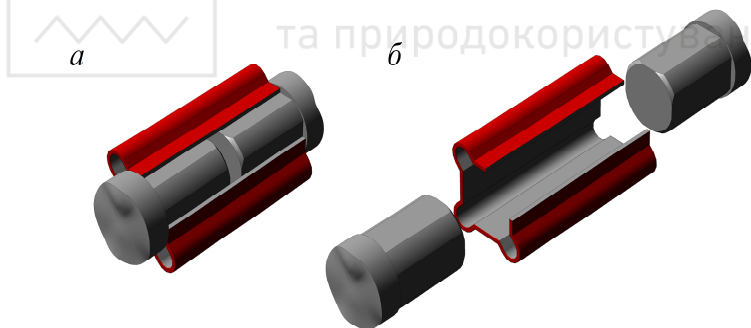


Рис. 1.5. Модель муфти з профільною втулкою:
а – коли вали з'єднані; б – коли вали роз'єднані

1.2. Компенсувальні кулачково-дискові муфти

Традиційні кулачково-дискові муфти належать до компенсувальних жорстких муфт. Вони можуть компенсувати незначні радіальні та осьові зміщення геометричних осей валів, що з'єднують. Основними недоліками таких муфт є відносно велика



жорсткості, тому обертальний момент від одного вала до іншого передається миттєво, тобто ударно, а це негативно впливає на деталі привода і на технологічний процес. Крім того, між кулачками і пазами виникає тертя ковзання, що приводить до швидкого спрацювання їхніх робочих поверхонь.

Для усунення вказаних недоліків запропоновані муфти [50-52], які володіють пружними властивостями, а тертя ковзання замінене на тертя кочення, що зменшує відмічене вище спрацювання.

Кулачково-дискова муфта [50] (рис. 1.6) складається з правої 1 і лівої 2 півмуфт та проміжного «плаваючого» диска 3. На внутрішніх торцях півмуфт 1 і 2 виконано по одному діаметрально розміщеному пазу 4, а на торцях проміжного «плаваючого» диска 3 розміщено взаємно перпендикулярно радіальні виступи – кулачки 5, профілі яких є подібними до профілів пазів 4 півмуфт 1 і 2 та утворюють невеликі зазори між собою. На бічних поверхнях кулачків 5 диска 3, які контактують з бічними поверхнями пазів 4 півмуфт 1 і 2 виконані радіально розміщені канавки в які встановлені пластинчасті пружини 6, закріплені з одного кінця гвинтами 7 так, що виступають над бічними поверхнями кулачків 5.

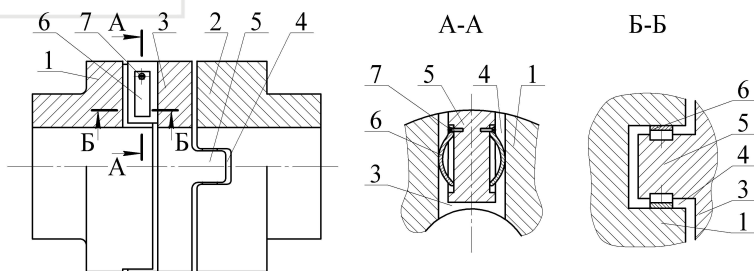


Рис. 1.6. Кулачково-дискова муфта з пружними вставками

Описана муфта функціонує за такою послідовністю. Під час передавання обертального моменту пластинчасті пружини 6, що закріплені на бічних поверхнях кулачків 5 гвинтами 7, деформуються. Завдяки пружній деформації пружин 6 гаситься динамічне навантаження і обертальний момент більш м'яко передається від ведучого вала до веденого.



Відтак, запропонована кулачково-дискова муфта має меншу жорсткість при крученні і тому обертальний момент від вала до вала передається м'якше. Це суттєва перевага цієї муфти тому, що сприяє збільшенню довговічності не тільки валів та інших деталей приводів, а також покращує рівномірність їх руху.

Кулачково-дискова муфта [51] (рис. 1.7) складається з правої 1 і лівої 2 півмуфт та проміжного «плаваючого» диска 3. На внутрішніх торцях півмуфт 1 і 2 виконано по одному діаметрально розміщеному пазу 4, а на торцях проміжного «плаваючого» диска 3 розміщено взаємно перпендикулярно радіальні виступи – кулачки 5, профілі яких є подібними до профілів пазів 4 півмуфт 1 і 2 та утворюють невеликі зазори між собою. На бічних поверхнях кулачків 5 диска 3, які контактують з бічними поверхнями пазів 4 півмуфт 1 і 2 виконані радіально розміщені канавки в які встановлені роликові підшипники 6 поступального руху, закріплені гвинтами 7 так, що ролики 8 виступають над бічними поверхнями кулачків 5.

Кулачково-дискова муфта працює так. При обертанні валів з радіально зміщеними осями, з'єднаних кулачково-дисловою муфтою, проміжний «плаваючий» диск 3 здійснює плоско-паралельний рух в площинах, перпендикулярних до осей валів. При цьому, обертальний момент кулачково-дисловою муфтою передається за рахунок натискання один на одного пазів 4 та кулачків 5 через контактуючі бічні поверхні і завдяки контакту їх через ролики 8 роликових підшипників 6 поступального руху, тертя ковзання замінене тертям кочення, що зменшує спрацювання цих контактних поверхонь пазів 4 та кулачків 5.

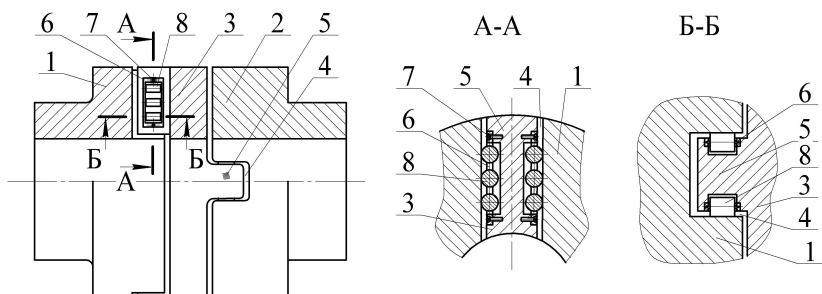


Рис. 1.7. Кулачково-дисккова муфта з вставками кочення



Запропонована кулачково-дیسкова муфта має більшу зносостійкість кулачків проміжного «плаваючого» диска і пазів півмуфт за рахунок заміни тертя ковзання на тертя кочення.

Кулачково-дیسкова муфта [52] (рис. 1.8) складається з правої 1 і лівої 2 півмуфт та проміжного «плаваючого» диска 3. На внутрішніх торцях півмуфт 1 і 2 виконано по одному діаметрально розміщеному пазу 4, а на торцях проміжного «плаваючого» диска 3 розміщено взаємно перпендикулярно радіальні виступи – кулачки 5, профілі яких є подібними до профілів пазів 4 півмуфт 1 і 2 та утворюють невеликі зазори між собою. На бічних поверхнях кулачків 5 диска 3, які контактують з бічними поверхнями пазів 4 півмуфт 1 і 2 виконані радіально розміщені канавки в які встановлені роликові підшипники 6 поступального руху, закріплені гвинтами 7 до пластинчастих дугоподібних пружин 8 так, що ролики 9 виступають над бічними поверхнями кулачків 5. Пластинчасті дугоподібні пружини 8 гвинтами 10 кріпляться до кулачків 5.

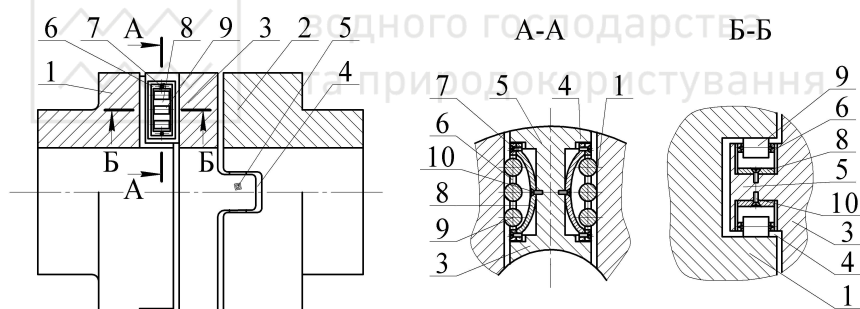


Рис. 1.8. Кулачково-дیسкова муфта з пружними вставками кочення

Принцип роботи кулачково-дیسкова муфта такий. При обертанні валів з радіально зміщеними осями, з'єднаних кулачково-дیسковою муфтою, проміжний «плаваючий» диск 3 здійснює плоско-паралельний рух в площинах, перпендикулярних до осей валів. При цьому, крутний момент кулачково-дیسковою муфтою передається за рахунок натискання один на одного пазів 4 та кулачків 5 через контактуючі бічні поверхні. Завдяки пружній деформації пластинчастих дугоподібних пружин 8 гаситься



динамічне навантаження і воно більш м'яко передається від вала до вала, а за рахунок контакту поверхонь кулачків 5 проміжного «плаваючого» диска 3 і пазів 4 півмуфт 1 і 2 через ролики 8 роликів підшипників 6 поступального руху, тертя ковзання замінене тертям кочення, що зменшує спрацювання цих контактних поверхонь пазів 4 та кулачків 5.

Запропонована кулачково-дискова муфта має меншу жорсткість і обертальний момент від вала до вала передається м'яко, із-за цього збільшується довговічність валів та інших деталей приводів, а також має більшу зносостійкість кулачків проміжного «плаваючого» диска і пазів півмуфт за рахунок заміни тертя ковзання на тертя кочення.

1.3. Компенсувальна зубчаста муфта

Зубчаста муфта [46] (рис. 1.9) складається з двох зовнішніх обойм 1 і 2 з внутрішніми зубцями, двох внутрішніх обойм 3 з зовнішніми зубцями, ущільнювача 4. Зовнішні обойми 1 і 2 з'єднані між собою болтами 5 (на рис. 1.9 показані умовно). По осі симетрії поперечних перерізів зубців виконані прорізи 6 у вигляді рівнобедрених трикутників з вершинами до основи зубців.

Зубчаста муфта працює так. При передачі обертального моменту, завдяки тому, що на зубцях виконані прорізи 6 у вигляді рівнобедрених трикутників, є можливість їх пружної деформації. Через пружну деформацію зубців 6 гаситься динамічне навантаження і воно більш м'яко передається від вала до вала.

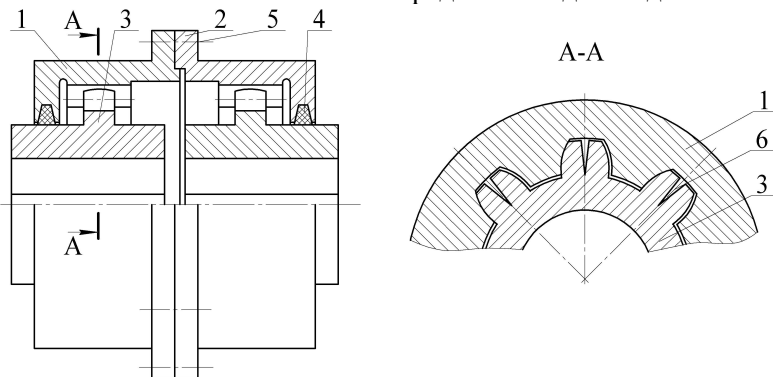


Рис. 1.9. Зубчаста муфта меншої жорсткості



Запропонована зубчаста муфта має меншу жорсткість і обертальний момент від вала до вала передається м'яко, що також збільшує довговічність валів та інших деталей приводів.

1.4. Компенсувальні пружні муфти

Пружна муфта [48] (рис. 1.10) складається з внутрішньої 1 і зовнішньої 2 півмуфт, на зовнішній поверхні внутрішньої півмуфти 1 виконані зовнішні 3, а на внутрішній поверхні зовнішньої півмуфти 2 виконані внутрішні виступи 4 з внутрішнім і зовнішнім діаметрами виступів так, що утворені зазори. На бічних поверхнях зовнішніх 3 і внутрішніх 4 виступах виконані сегментні поздовжні вирізи. У вільні простори 5 між виступами 3 і 4 установлені пружні елементи 6 у вигляді гільзових пружин, кришки 7 з ущільненням 8 і болтів 9. Діаметр сегментних вирізів трохи більший за зовнішній діаметр гільзових пружин 6.

Пружну муфту збирають наступним чином. Внутрішню півмуфту 1 встановлюють у зовнішню півмуфту 2. У вільні простори 5 між виступами 3 і 4 встановлюють пружні елементи 6 з початковим натягом. Далі закладають густе мастило, закривають кришкою 7 з ущільненням 8 і закріплюють гвинтами 9. Муфта готова до експлуатації.

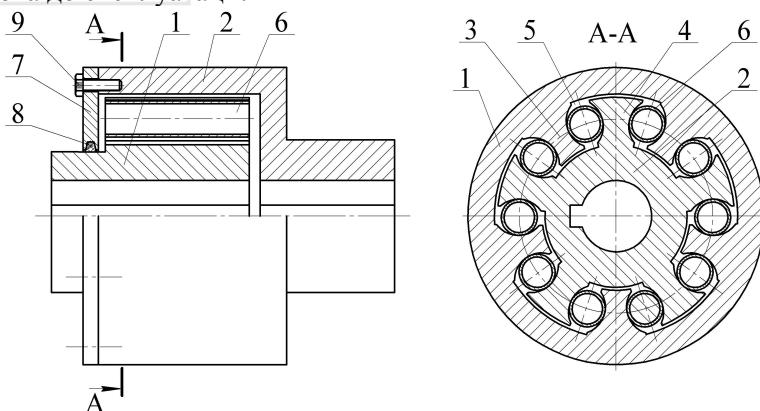


Рис. 1.10. Муфта з гільзовими пружинами

Пружна муфта працює так. При передачі обертального моменту пружні елементи 6 рівномірно стискаються. При припиненні обертального моменту пружні елементи 6 розправляються до початкового положення. Якщо змінюється



напрямок передачі обертального моменту, тоді пружні елементів 6 рівномірно деформуються в зворотному напрямку. Завдяки цьому гаситься динамічне навантаження і більш м'яко передається від вала до вала.

Запропонована пружна муфта має більшу довговічність, обертальний момент від вала до вала передається м'яко і гільзові пружини деформуються рівномірно.

Пружна муфта [47] (рис. 1.11) складається внутрішньої 1 і зовнішньої 2 півмуфт. На зовнішній поверхні внутрішньої півмуфти 1 виконані зовнішні прямобічні виступи 3, а на внутрішній поверхні зовнішньої півмуфти 2 виконані внутрішні прямобічні виступи 4 з майже рівними внутрішнім і зовнішнім діаметрами. У вільні простори між виступами 3 і 4 установлені пружні елементи 5 у вигляді пружних призматичних шпонків з пустотілою формою у вигляді кругових отворів 6 з'єднаних поздовжнім розрізом 7 по осі симетрії, кришки 8 з ущільненням 9 і болтів 10.

Пружну муфту збирають наступним чином. Внутрішню півмуфту 1 встановлюють у зовнішню півмуфту 2. У вільні простори між виступами 3 і 4 встановлюють пружні елементи 5 з початковою деформацією рівною половині ширини поздовжнього розрізу 7. Далі закладають густе мастило, закривають кришкою 4 з ущільненням 9 і закріплюють гвинтами 10. Муфта готова до експлуатації.

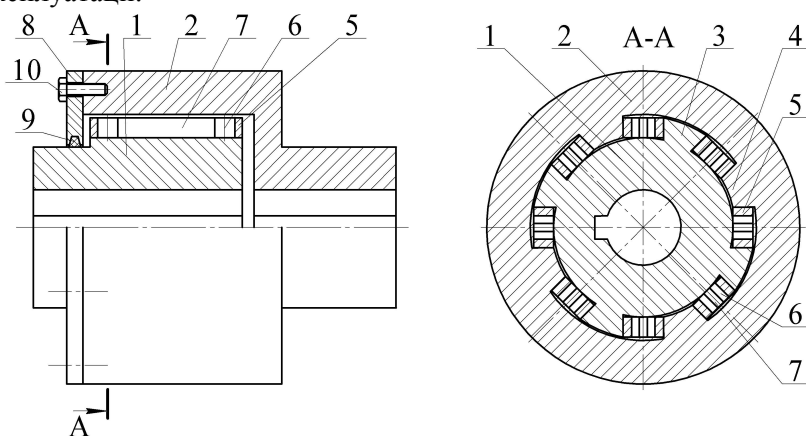


Рис. 1.11. Муфта з пружними призматичними шпонками



Пружна муфта працює так. При передачі обертового моменту, одна половина пружних елементів 5 стискається. При припиненні обертового моменту пружні елементи 5 розправляються до початкового положення. Якщо змінюється напрямок передачі обертового моменту, тоді працює друга половина пружних елементів 5. Завдяки цьому гаситься динамічне навантаження і воно більш м'яко передається від вала до вала.

Пружна муфта має просту конструкцію і більшу довговічність, обертовий момент від вала до вала передається м'яко.

1.5. Муфти з підковоподібними пружинами

1.5.1. Пружини розміщені вздовж осі обертання вала

Пружна муфта [49] (рис. 1.12) складається з правої 1 і лівої 2 півмуфт та підковоподібних пружин 3. На зовнішніх поверхнях і торцях півмуфт 1 і 2 виконані прямобічні западини 4 і кулачки 5. В отвори на торцевих поверхнях кулачків 5 встановлені підковоподібні пружини 3.

Послідовність складання пружної муфти (рис. 1.12) наступна. Півмуфти встановлюють так, що ділянки прямобічних кулачків 5, що виступають по довжині півмуфт 1 і 2 над їх внутрішніми торцевими поверхнями, розміщуються у западинах 4, а в поздовжні отвори виконані на обох торцях кулачків 5 встановлені підковоподібні пружини 3 з початковою деформацією. Пружна муфта готова до роботи.

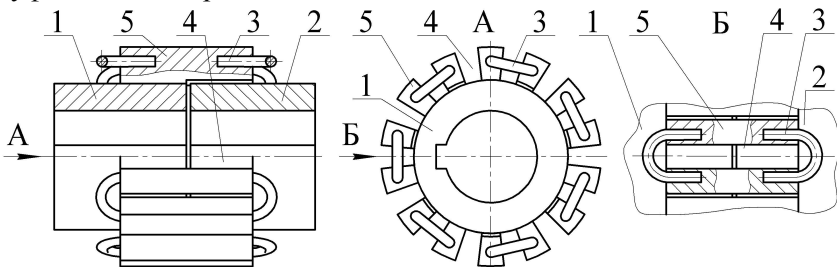


Рис. 1.12. Муфта з поздовжніми підковоподібними пружинами



її функціонування таке. При передачі обертального моменту від вала до вала через півмуфти 1 і 2, підковоподібні пружини 3 деформуються і за рахунок пружної деформації пружин 3 робочий момент передається м'яко.

Запропонована пружна муфта має просту конструкцію і більшу довговічність, а за рахунок пружної деформації підковоподібних пружин різка характеристика привода згладжується.

На рис. 1.13 наведена пружна муфта [53; 54]. Вона складається з правої 1 і лівої 2 півмуфт та підковоподібних пружин 3. На зовнішніх поверхнях і торцях півмуфт 1 і 2 виконані прямобічні западини 4 і кулачки 5. В отвори на торцевих поверхнях кулачків 5 встановлені підковоподібні пружини 3. Бічні грані кулачків 5 і дно западин 4 футеровані відповідно гумовими прокладками 6 і 7.

Рекомендується її складання виконувати так. Півмуфти встановлюють так, що ділянки прямобічних кулачків 5 з закріпленими, наприклад приклеєними, на бічних гранях гумовими прокладками 6, що виступають по довжині півмуфт 1 і 2 над їх внутрішніми торцевими поверхнями, розміщаються у западинах 4, днища яких також футеровані гумовими прокладками 7, при цьому, торцеві поверхні кулачків суміщаються, а в поздовжні отвори виконані на обох торцях кулачків 5 встановлені підковоподібні пружини 3. Після чого пружна муфта повністю готова до роботи.

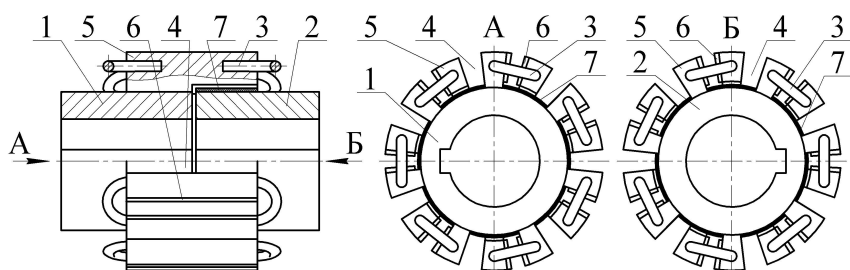


Рис. 1.13. Муфта з поздовжніми підковоподібними пружинами

Робочий процес може бути таким. При передачі обертального моменту від вала до вала через півмуфти 1 і 2, підковоподібні пружини 3 деформуються до контакту гумових прокладок 6, які



закріплені, наприклад приклеєні, на бічних гранях кулачків 5 і за рахунок пружної деформації пружин 3 на початковій стадії і сумісної незначної деформації пружин 3 і гумових прокладок 6 із-за здатності гуми гасити можливі коливання, додатково гасяться динамічні навантаження і згладжується різка характеристика привода. Гумові прокладки, які приклеєні до днів западин гасять радіальні коливання, які виникають із-за не співвісності валів.

Запропонована пружна муфта має відносно просту конструкцію і більшу довговічність, за рахунок пружної деформації підковоподібних пружин, які сприяють рівномірності передаванню навантажень, а гумові прокладки обмежують деформацію підковоподібних пружин і гасять радіальні коливання півмуфт.

Пружна муфта [111] (рис. 1.14) складається з двох однакових півмуфт – правої 1 і лівої 2. На зовнішніх поверхнях фланців 3 півмуфт 1 і 2 виконані прямобічні кулачки 4 і западини 5. В торцях кулачків 4 виконані отвори 6 у які, за допомогою, наприклад, пресової посадки встановлені кулачки 7, що виступають над торцями фланців півмуфт 1 і 2. По осі симетрії кулачків 7 виконані осеві отвори 8 для установки підковоподібних пружин 9.

Пружну муфту збирають наступним чином. На початку збирають півмуфти 1 і 2, у отвори 6 кулачків 4 запресовують кулачки 7. Далі встановлюють півмуфти 1 і 2 так, що ділянки кулачків 7, що виступають по довжині півмуфт 1 і 2 над їх внутрішніми торцевими поверхнями, розміщуються у западинах 5, а в поздовжні отвори 8 виконані у кулачках 7 встановлюють підковоподібні пружини 9, наприклад, з початковою деформацією. Після виконання цих операцій вона готова до роботи.

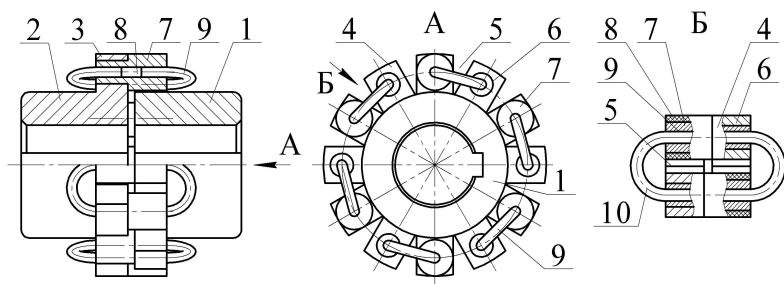


Рис. 1.14. Муфта з поздовжніми підковоподібними пружинами



Пружна муфта працює так. При передачі обертального моменту від вала до вала через півмуфти 1 і 2, підковоподібні пружини 3 деформуються і за рахунок пружної деформації пружин 3 обертальний момент передається м'яко.

У запропонованій пружній муфті зменшуються витрати матеріалу і вартість виготовлення півмуфт внаслідок раціональної конструкції кулачків, які виготовлені складеними.

Пружна муфта [64-67] (рис. 1.15) складається з двох подібних півмуфт 1 і 2, підковоподібних пружин 3 та суцільного тороподібного кільця 4. На зовнішніх циліндричних поверхнях півмуфт 1 і 2 виконані прямобічні западини 5 і кулачки 6. В торцях кулачків 6 виконані поздовжні отвори 7 в які встановлені підковоподібні пружини 3. На внутрішніх торцевих поверхнях півмуфт виконані кільцеві канавки 8 півкруглого профілю так, що при збиранні муфти утворена тороподібна порожнина 9, в яку встановлено тороподібне кільце 4, яке контактує з поверхнями згаданої порожнини 9.

Пружну муфту збирають наступним чином. В кільцеву канавку 8 однієї із півмуфт 1 або 2 встановлюють тороподібне кільце 4. Далі півмуфти 1 і 2 встановлюють так, що ділянки прямобічних кулачків 6, що виступають по довжині півмуфт 1 і 2 над їх внутрішніми торцевими поверхнями, розміщуються у западинах 5, а в поздовжні отвори 7 виконані на обох торцях кулачків 6 встановлюють підковоподібні пружини 3. Пружна муфта готова до роботи.

Пружна муфта працює так. При передачі обертального моменту від вала до вала через півмуфти 1 і 2, підковоподібні пружини 3 деформуються і за рахунок пружної деформації пружин 3 обертальний момент передається м'яко. Тороподібне кільце 4 стабілізує відносний рух півмуфт 1 і 2, викликаних радіальною, осьовою та кутовою не співвісностями і з-за цього зменшуються динамічні навантаження викликані радіальною, осьовою та кутовою не співвісностями. Тороподібне кільце 4 може бути у поперечному перетині у вигляді: суцільного круга (рис. 1.15, а), кільця (рис. 1.15, б), шестикутне (рис. 1.15, в), або іншого раціонального перетину.

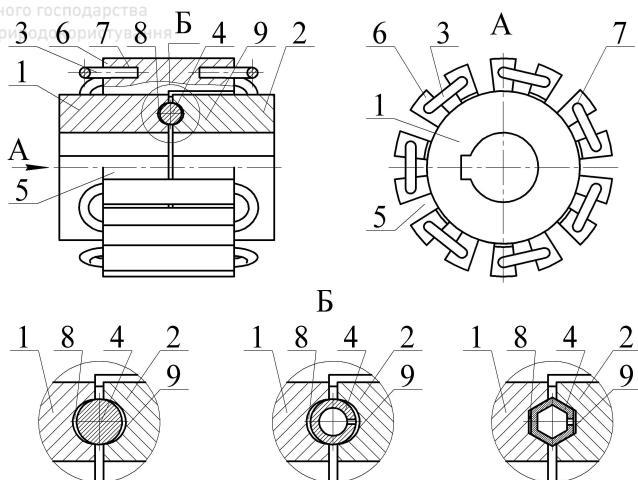


Рис.1.15. Муфта з поздовжніми підковподібними пружинами

Пружна муфта зменшує ударні навантаження за рахунок стабілізації відносних рухів викликаних радіальною, осьовою та кутовою неспіввісностями півмуфт.

На рис. 1.16 і 1.17 показані моделі нової муфти пружної (див. рис. 1.14), які створені в системі 3D в зібраному і в розібраному виглядах. Використання комп'ютерного моделювання при проектуванні муфти пружної дозволяє: на початковій стадії проектування отримати візуальне уявлення про муфту та її складові, оглянути її з любой точки; підвищити точність, досягати великої економії часу і витрат на проектування; легко редагувати трьохмірну модель муфти, тобто вносити необхідні зміни; отримати велике число можливих варіантів проектних рішень для муфти і на основі глибокого аналізу вибрати найкраще конструктивне рішення.

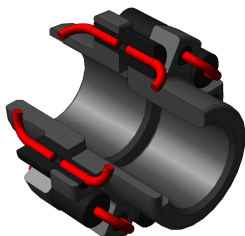


Рис. 1.16. Модель муфти пружної в зібраному вигляді

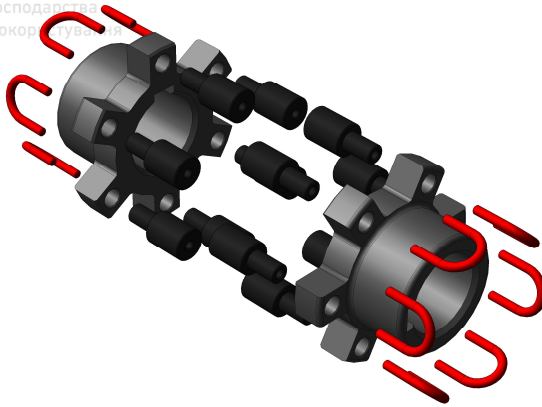


Рис. 1.17. Модель муфти пружної в розібраному вигляді

Запропонована муфта пружна забезпечує плавну передачу обертального моменту в період пуску машини або неусталеного режиму її роботи та покращує демпфуючі та компенсуючі характеристики за рахунок вибору відповідної жорсткості пружних елементів, а також при виконанні кулачків і западин півмуфт менше матеріалу йде в утілі.

1.5.2. Пружини розміщені радіально до осі обертання вала

Пружна муфта [69] (рис. 1.18) складається з правої 1 і лівої 2 півмуфт та пластинчастих підковоподібних пружин 3. На зовнішніх поверхнях і торцях півмуфт 1 і 2 виконані прямобічні западини 4 і виступи 5. У виступах 5, зі сторони торцевих поверхонь, виконані поздовжні кругові наскрізні отвори 6, що з'єднані з зовнішніми поверхнями виступів 5 півмуфт 1 і 2 радіальними поздовжніми прорізами 7 дотично до поздовжніх кругових наскрізних отворів 6, у які встановлені пластинчасті підковоподібні пружини 3, кінці яких 8 виконані у вигляді пустотілих розрізаних по довжині циліндрів і за формою та величиною відповідають поздовжнім круговим наскрізним отворам 6.

Цю пружну муфту збирають наступним чином. Півмуфти встановлюють так, що ділянки прямобічних виступів 5, що виступають по довжині півмуфт 1 і 2 над їх внутрішніми торцевими поверхнями, розміщуються у западинах 4, а в поздовжні отвори 6 з'єднані з зовнішніми поверхнями виступів 5 півмуфт радіальними



поздовжніми прорізами 7 дотично до поздовжніх кругових наскрізних отворів 6, встановлюють пластинчасті підковоподібні пружини 3, кінці яких 8 за формою і величиною відповідають поздовжнім круговим наскрізним отворами 6. Після чого пружна муфта готова до роботи.

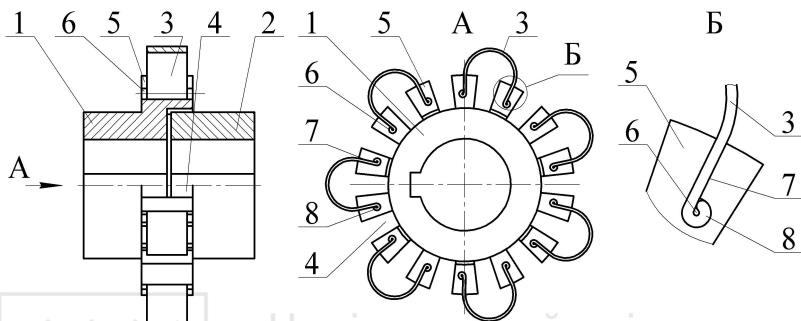


Рис. 1.18. Муфта з радіальними підковоподібними пружинами

Послідовність роботи цієї муфти така. При передачі не рівномірного за величиною обертового моменту від ведучого вала до веденого через півмуфти 1 і 2, пластинчасті підковоподібні пружини 3 деформуються і за рахунок цього навантаження веденої ланки здійснюється рівномірніше.

Запропонована пружна муфта має просту конструкцію і менші габаритні розміри вздовж валів, які вона з'єднує.

Тепер розглянемо дещо подібну до попередньої муфту. Ця пружна муфта [81] (рис. 1.19) складається з правої 1 і лівої 2 півмуфт та пластинчастих підковоподібних пружин 3. На зовнішніх поверхнях і торцях півмуфт 1 і 2 виконані прямобічні западини 4 і виступи 5. У виступах 5, зі сторони торцевих поверхонь, виконані поздовжні кругові наскрізні отвори 6 з'єднані з зовнішніми поверхнями виступів 5 півмуфт 1 і 2 радіальними поздовжніми прорізами 7, дотично до поздовжніх кругових наскрізних отворів 6. У ці отвори 6 і прорізи 7 встановлені пластинчасті підковоподібні пружини 3, кінці яких 8 виконані у вигляді пустотілих розрізаних по довжині циліндрів і за формою та величиною відповідають поздовжнім круговим наскрізним отворами 6. На зовнішній поверхні



водного господарства
та природокористування
підковоподібних пружин виконані по одному і більше наскрізних прорізи 9.

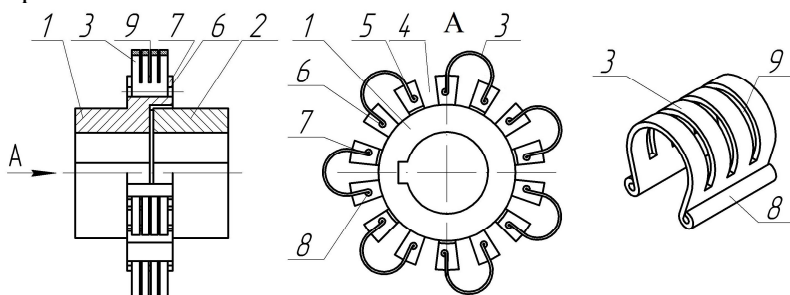


Рис. 1.19. Муфта з радіальними підковоподібними пружинами

Пружну муфту збирають наступним чином. Півмуфти встановлюють так, що ділянки прямобічних виступів 5, що виступають по довжині півмуфт 1 і 2 над їх внутрішніми торцевими поверхнями, розміщуються у западинах 4, а в поздовжні отвори 6 з'єднані з зовнішніми поверхнями виступів 5 півмуфт радіальними поздовжніми прорізами 7 дотично до поздовжніх кругових наскрізних отворів 6, встановлюють пластинчасті підковоподібні пружини 3 з наскрізними прорізами 9, кінці яких 8 за формою і величиною відповідають поздовжнім круговим наскрізним отворам 6. Пружна муфта готова до роботи.

Пружна муфта працює так. При передачі обертального моменту від вала до вала через півмуфти 1 і 2, пластинчасті підковоподібні пружини 3 з наскрізними прорізами 9 деформуються і за рахунок пружної деформації пружин 3 обертальний момент від півмуфти 1 і до півмуфти 2 передається м'яко.

Запропонована пружна муфта має просту конструкцію і за рахунок наскрізних прорізів у пластинчастих підковоподібних пружинах можна досягати їх різної жорсткості в межах габаритних і поперечного перетину розмірах.

Пружна муфта [71] (рис. 1.20) складається з правої 1 і лівої 2 півмуфт та пружного елемента у вигляді пакета радіальних пружин 3 круглого поперечного перерізу. На зовнішніх поверхнях і торцях півмуфт 1 і 2 виконані прямобічні западини 4 і виступи 5. У виступах 5 зі сторони торцевих поверхонь виконані поздовжні

наскрізні отвори 6, з'єднані з зовнішніми поверхнями виступів 5 півмуфт 1 і 2 радіальними круговими отворами 7, зміщеними відносно поздовжніх кругових наскрізних отворів 6, у які встановлені підковоподібні пружини круглого перетину пакету 3, на ділянках близьких до кінців яких виконані кругові вирізи 8, і закріплені стержнем 9.

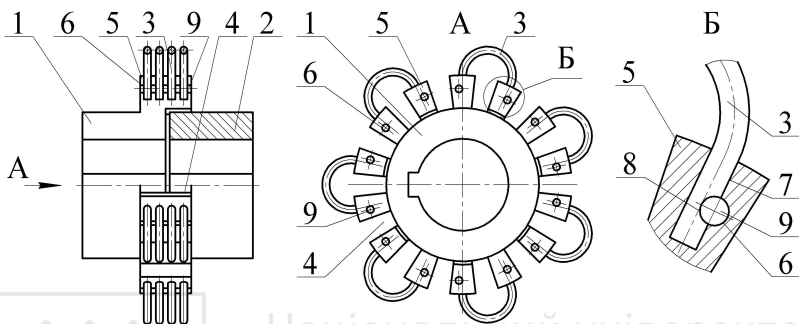


Рис. 1.20. Муфта з пакетом радіальних підковоподібних пружин круглого перетину

Пружну муфту збирають наступним чином. Півмуфти встановлюють так, що ділянки прямобічних виступів 5, що виступають по довжині півмуфт 1 і 2 над їх внутрішніми торцевими поверхнями, розміщуються у западинах 4, а в радіальні отвори 7 встановлюють підковоподібні пружини пакету 3 круглого поперечного перетину до суміщення кругових вирізів 8 з поздовжніми круговими наскрізними отворами 6. Далі в поздовжні кругові наскрізні отвори 6 встановлюють стержень 9, яким закріплюють пружини круглого поперечного перетину пакету 3. Пружна муфта готова до роботи.

Пружна муфта працює так. При передачі обертового моменту від вала до вала через півмуфти 1 і 2, пакети 3 підковоподібних пружин круглого поперечного перетину деформуються і за рахунок пружної деформації обертовий момент передається м'яко.

Пружна муфта з пружними елементами у вигляді пакету підковоподібних пружин круглого поперечного перетину забезпечує плавну передачу обертового моменту, зменшує вплив неспіввідності півмуфт, а із-за цього покращені демпфуючі



власивості та здатність амортизувати поштовхи та удари за рахунок накопичення потенціальної енергії в пружних елементах при їх деформації.

Пружна муфта [94] (рис. 1.21) складається з правої 1 і лівої 2 півмуфт та ступінчастих пластинчастих підковоподібних пружин 3 з верхньою підковоподібною частиною 4 та нижньою підковоподібною частиною 5. На зовнішніх поверхнях і торцях півмуфт 1 і 2 виконані прямобічні западини 6 і кулачки 7. У кулачках 7, зі сторони торцевих поверхонь, виконані поздовжні кругові наскрізні отвори 8, з'єднані з зовнішніми поверхнями виступів 7 півмуфт 1 і 2 радіальними поздовжніми прорізами 9 дотично до поздовжніх кругових наскрізних отворів 8, у які встановлені пластинчасті підковоподібні пружини 3, кінці яких 10 виконані у вигляді пустотілих розрізаних по довжині циліндрів і за формою та величиною відповідають поздовжнім круговим наскрізним отворам 8, закріплені стержнями 11.

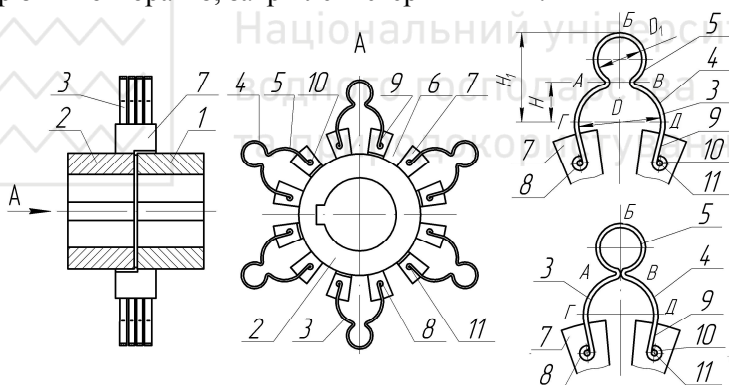


Рис. 1.21. Муфта з радіальними підковоподібними пружинами різної конфігурації

Пружну муфту збирають наступним чином. Півмуфти встановлюють так, що ділянки прямобічних кулачків 7, що виступають по довжині півмуфт 1 і 2 над їх внутрішніми торцевими поверхнями, розміщуються у западинах 6, а в поздовжні отвори 8, з'єднані з зовнішніми поверхнями кулачків 7 півмуфт радіальними поздовжніми прорізами 9 дотично до поздовжніх кругових наскрізних отворів 8, встановлюють пластинчасті підковоподібні пружини 3 кінці яких 10 за формою і величиною відповідають



водно-господарства
та природоохоронного призначення

поздовжнім круговим наскрізним отворам 8 і закріплюють стержнями 11.

Пружна муфта готова до роботи та функціонує так. При передачі обертального моменту від вала до вала через півмуфти 1 і 2, ступінчасті пластинчасті підковоподібні пружини 3 з наскрізними прорізами 9 деформуються у верхній підковоподібній частині 4 по лінії ABB та плечі H_1 .

Під час дотику кінців верхньої підковоподібної частини 4 точками A і B , після повороту муфти на кут φ_1 , відбувається подальша деформація пластинчастих підковоподібних пружин 3 по лінії $GABD$ на плечі H до повороту муфти на кут φ_p і досягнення розрахункового моменту T_p . Завдяки силам пружності пластинчастих підковоподібних пружин 3 розрахунковий обертальний момент T_p передається з одного вала на другий плавно і м'яко. Виконання пружних елементів 3 ступінчастими з різними розмірами верхньої частини 4 і нижньої частини 5, коли їх деформації виникають на різних плечах H і H_1 забезпечує муфту двохзначною лінійною жорсткістю, що збільшує її довговічність і покращує демпфуючу здатність і енергоємність, яка характеризує здатність муфти амортизувати поштовхи та удари, захищати механічний привод від резонансних коливань. Відстань між переходом верхнього і нижнього підковоподібних профілів пружин 3 менша ніж відстань між суміжними кулачками 7, що стискають ці пружини, півмуфт 1 і 2.

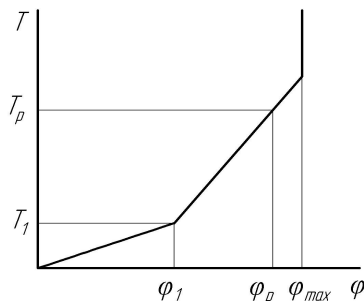


Рис. 1.22. Крива жорсткості пружини



Пружна муфта має більшу довговічність і неоднозначну лінійну жорсткість пружних елементів, а із-за цього покращені демпфуючі властивості та здатність амортизувати поштовхи та удари за рахунок накопичення потенціальної енергії в пружних елементах при їх деформації.

Пружна муфта [99] (рис. 1.23) складається з правої 1 і лівої 2 півмуфт та ступінчастих пластинчастих підковоподібних пружин з різними радіусами згину 3, 4 і 5. На зовнішніх поверхнях і торцях півмуфт 1 і 2 виконані прямобічні западини 6 і кулачки 7. У кулачках 7, зі сторони торцевих поверхонь, виконані поздовжні кругові наскрізні отвори 8 з'єднані з зовнішніми поверхнями кулачків 7 півмуфт 1 і 2 радіальними поздовжніми прорізами 9 дотично до поздовжніх кругових наскрізних отворів 8, у які встановлені пластинчасті підковоподібні пружини 3, 4 і 5, кінці яких 10 виконані у вигляді пустотілих розрізаних по довжині циліндрів і за формою та величиною відповідають поздовжнім круговим наскрізним отворам 8, закріплені стержнями 11. Півмуфти 1 і 2 встановлені на кінцях валів 12 і 13.

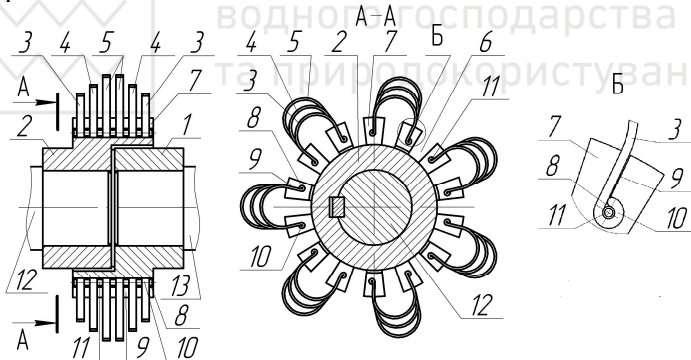


Рис. 1.23. Муфта з пакетами радіальних підковоподібних пружин різних розмірів

Пружну муфту збирають наступним чином. Півмуфти встановлюють так, що ділянки прямобічних кулачків 7, що виступають по довжині півмуфт 1 і 2 над їх внутрішніми торцевими поверхнями, розміщуються у западинах 6, а в поздовжні отвори 8 з'єднані з зовнішніми поверхнями кулачків 7 півмуфт радіальними поздовжніми прорізами 9 дотично до поздовжніх кругових



наскрізних отворів 8, встановлюють пластинчасті підковоподібні пружини 3, 4 і 5 кінці яких 10 за формою і величиною відповідають поздовжнім круговим наскрізним отворам 8 і закріплюють стержнями 11. Пружини 3, 4 і 5 встановлюються в порядку зменшення радіусів згину пружин 5, 4 і 3 в напрямку від торців валів 12 і 13. Пружна муфта готова до роботи.

Пружна муфта працює так. При передачі обертального моменту від вала 12 до вала 13 через півмуфти 1 і 2, пластинчасті підковоподібні пружини 3, 4 і 5 деформуються у межах пружності і обертальний момент передається м'яко. При цьому вали 12 і 13 закручуються на певний кут в напрямку від торцевих поверхонь їх кінців, який через шпонкові з'єднання поширюється на півмуфти 1 і 2, а відповідно і до пластинчастих підковоподібних пружин 3, 4 і 5, жорсткість яких завдяки різним радіусам згину збільшується в напрямку від торців валів 12 і 13. Відповідно навантаження на вали 12 і 13 при передачі обертального моменту в початковий момент або при частих динамічних навантаженнях вздовж їх поздовжніх осей збільшується в напрямку від їх торців, що зменшує кут закручування валів, а отже і внутрішніх напруг, які приводять до їх втоми.

Муфта з пружними елементами з різними радіусами згину забезпечує плавну передачу обертального моменту, має більшу надійність і довговічність та здатність амортизувати поштовхи та удари за рахунок накопичення потенціальної енергії в пружних елементах при їх деформації.

На рис. 1.24-1.28 показані моделі нових пружних муфт, які створені в системі 3D в зібраному і в розібраному виглядах, що істотно допомагає зрозуміти будову цих муфт.

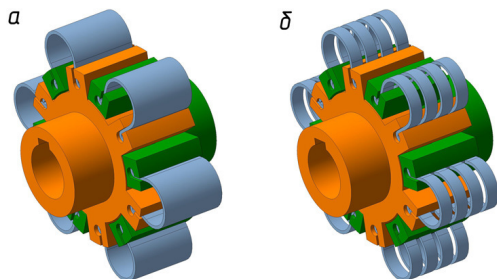


Рис. 1.24. Моделі пружних муфт: а – з суцільними пружинами;
б – з розрізаними пружинами в зібраному вигляді

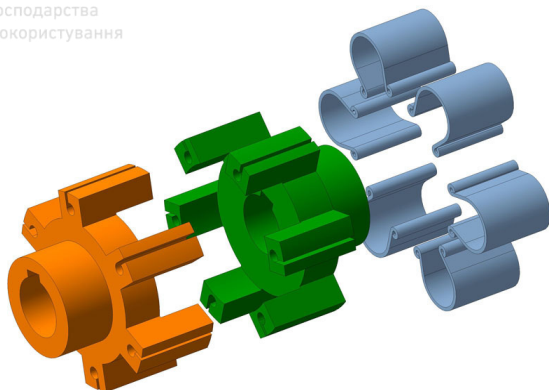


Рис. 1.25. Модель пружної муфти показаної на рис. 1.18,
а – в розібраному вигляді

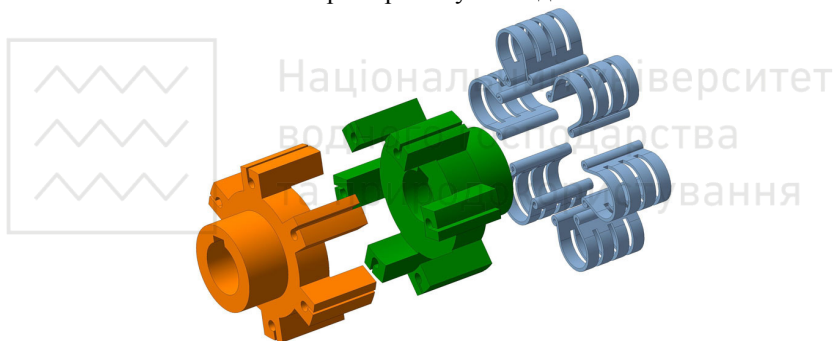


Рис. 1.26. Модель пружної муфти показаної на рис. 1.19,
б – в розібраному вигляді

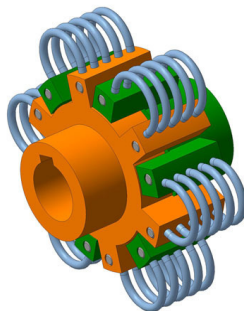


Рис. 1.27. Модель пружної муфти з пакетом пружин
круглого перетину – в зібраному вигляді

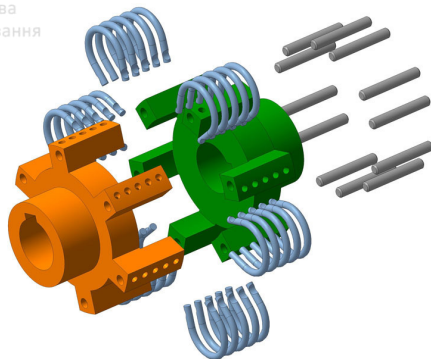


Рис. 1.28. Модель пружної муфти з пакетом пружин круглого перетину – в розібраному вигляді

Пружна муфта [70] (рис. 1.29) складається також з правої 1 і лівої 2 півмуфт та пружних елементів 3 з V – подібними частинами 4 і паралельними кінцями 5. На зовнішніх поверхнях півмуфт 1 і 2 виконані прямобічні западини 6 і кулачки 7. На торцевих поверхнях кулачків 7 виконані поздовжні кругові наскрізні отвори 8.

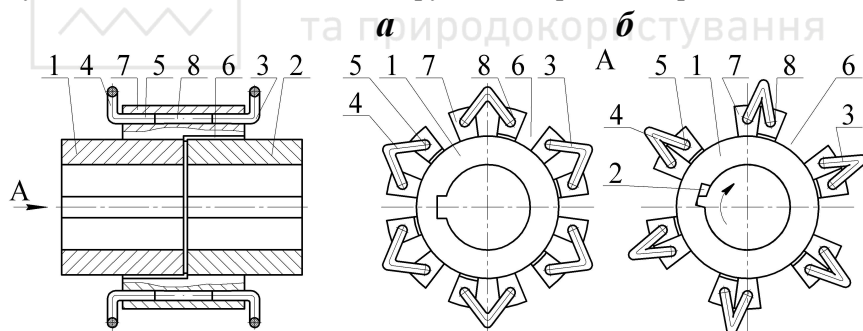


Рис. 1.29. Муфта з радіальними V – подібними пружинами:
а – до роботи; *б* – під час роботи

Пружну муфту збирають наступним чином. Півмуфти встановлюють так, що ділянки прямобічних кулачків 7, що виступають по довжині півмуфт 1 і 2 над їх внутрішніми торцевими поверхнями, розміщуються у западинах 6, а в поздовжні отвори 8 встановлюють поздовжні кінці 5 пружних елементів 3 до упору їх V – подібних частин 4 у торці кулачків 7. Пружна муфта готова до роботи.



Пружна муфта працює так. При передачі обертального моменту від вала до вала через півмуфти 1 і 2 V -подібні частини 4 пружних елементів 3 деформуються і за рахунок їх пружної деформації обертальний момент передається м'яко.

Запропонована пружна муфта має менші габаритні розміри вздовж валів, які вона з'єднує.

Пружна муфта [96] (рис. 1.30) складається з правої 1 і лівої 2 півмуфт та пружних елементів 3 з V -подібними частинами 4 і паралельними кінцями 5. На зовнішніх поверхнях півмуфт 1 і 2 виконані прямобічні западини 6 і кулачки 7, на торцевих поверхнях яких виконані отвори 8. Зі сторони торцевих поверхнь кулачків 7 на маточинах півмуфт 1 і 2 встановлені диски 9 і 10 до яких закріплені фігурні опори 11 з криволінійним обрисом бокових поверхнь, які проходять через осі симетрії V -подібних частин 4 пружних елементів 3. Фігурні опори 11 з'єднані з дисками 9 і 10 одним із відомих способів, наприклад, гвинтами 12.

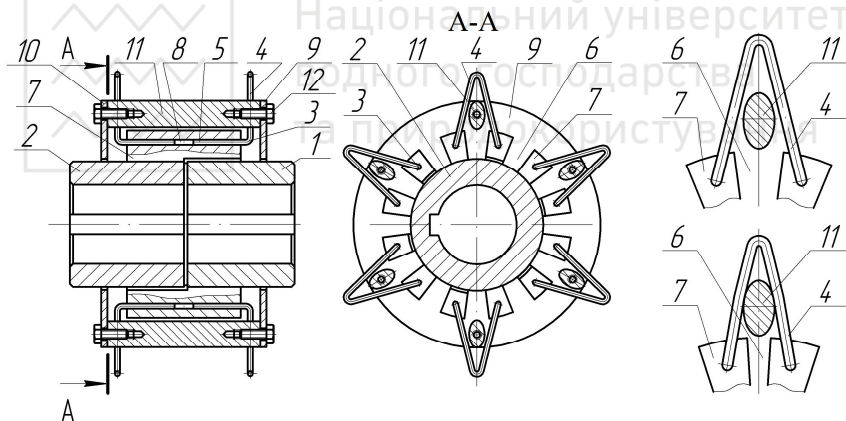


Рис. 1.30. Муфта з радіальними V -подібними пружинами з фігурними опорами

Пружну муфту збирають наступним чином. Півмуфти встановлюють так, що ділянки прямобічних кулачків 7, що виступають по довжині півмуфт 1 і 2 над їх внутрішніми торцевими поверхнями, розміщуються у западинах 6, а в поздовжні отвори 8 встановлюють поздовжні кінці 5 пружних елементів 3 до упору їх V -подібних частин 4 у торці кулачків 7. Далі між V -подібні частини 4 пружних елементів 3 встановлюють фігурні опори 11.



Затим на півмуфти 1 і 2 зі сторони V – подібних частин 4 пружних елементів 3 встановлюють диски 9 і 10 і з'єднують їх з фігурними опорами 11 одним із відомих способів, наприклад, гвинтами 12. Після виконання цих операцій пружна муфта повністю готова до роботи.

Пружна муфта працює так. На початку при передачі обертового моменту від вала до вала через півмуфти 1 і 2 V -подібні частини 4 пружних елементів 3 деформуються до контакту їх з боковими поверхнями опор 11 і подальшою деформацією відносно цих опор 11, що зумовлює нелінійну характеристику муфти, тобто жорсткість муфти збільшується разом з збільшенням обертового моменту. Далі зі збільшенням обертового моменту до розрахункового T_p півмуфти 1 і 2 обертаються з однаковою швидкістю. В подальшому при виникненні поштовхів та ударів при передачі обертового моменту муфта амортизує їх за рахунок накопичення потенціальної енергії у V – подібних частинах 4 пружних елементів 3 внаслідок пружної деформації до контакту пружних кулачків 7 при обертовому моменті T_2 півмуфт 1 і 2.

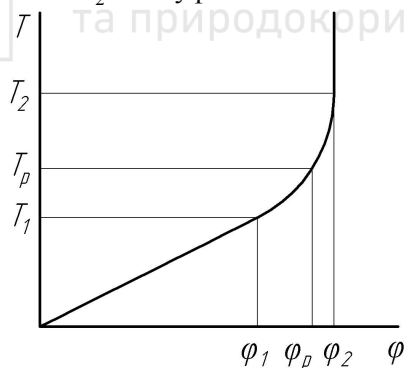


Рис. 1.31. Крива жорсткості пружини

Пружна муфта має нелінійну жорсткість пружних елементів, а із-за цього покращені демпфуючі властивості та здатність амортизувати поштовхи та удари за рахунок накопичення потенціальної енергії в пружних елементах при їх деформації.



Пружна муфта [95] (рис. 1.32) складається з правої 1 і лівої 2 півмуфт та пружних елементів 3 з V – подібними частинами 4 і паралельними кінцями 5. На зовнішніх поверхнях півмуфт 1 і 2 виконані прямобічні западини 6 і прямобічні кулачки 7, на торцевих поверхнях яких виконані дугоподібні наскрізні пази 8, радіус кривизни яких дорівнює довжині сторони V – подібної частини 4 пружного елемента 3, причому пази 8 виконані від нижніх основ суміжних кулачків 7 до верхніх основ.

Пружну муфту збирають наступним чином. Півмуфти встановлюють так, що ділянки прямобічних кулачків 7, що виступають по довжині півмуфт 1 і 2 над їх внутрішніми торцевими поверхнями, розміщуються у западинах 6, а в наскрізні пази 8 встановлюють поздовжні кінці 5 пружних елементів 3 до упору їх V – подібних частин 4 у торці кулачків 7 так, що вершини V – подібних частини 4 пружних елементів 3 контактують з зовнішніми поверхнями маточин півмуфт 1 і 2. Пружна муфта готова до роботи.

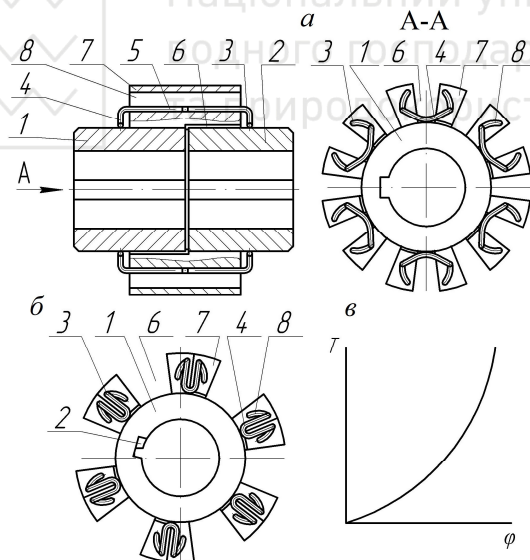


Рис. 1.32. Пружна муфта: *а* – положення до роботи;
б – положення під час роботи; *в* – крива жорсткості пружини

Пружна муфта працює так. На початку при передачі обертального моменту від вала до вала через півмуфти 1 і 2 V –

подібні частини 4 пружних елементів 3 деформуються і завдяки тому, що вершини V – подібних частини 4 пружних елементів 3 контактують з зовнішніми поверхнями маточин півмуфт 1 і 2 поздовжні кінці 5 пружних елементів 3 переміщаються в дугоподібних наскрізних пазах 8, при цьому плече дії сили пружності кожного пружного елемента на кулачок 7 збільшується, а відповідно збільшується і жорсткість муфти. При такому одночасному збільшенні сил пружності пружних елементів 3 і збільшення пліч дії цих сил на кулачки 7 півмуфт 1 і 2 виникає нелінійна залежність між обертальним моментом T і кутом закручування муфти φ , тобто муфта має нелінійну характеристику жорсткості і обертальний момент передається м'яко.

Запропонована пружна муфта має нелінійну жорсткість пружних елементів, а із-за цього покращені демпфуючі властивості та здатність амортизувати поштовхи та удари за рахунок накопичення потенціальної енергії в пружних елементах при їх деформації.

1.6. Муфти з зіркоподібною пружиною

Муфта запобіжна пружна [113] (рис.1.33) складається з внутрішньої 1 і зовнішньої 2 півмуфт, з'єднаних між собою зіркоподібною плоскою пружиною 3, сторони 4 і 5 виступів 6 якої виконані випуклими в сторону від осі симетрії виступів 6, встановленою в заглиблення 7 і 8 півмуфт 1 і 2, причому заглиблення 8 виконані з радіусом більшим радіусів заокруглень виступів 6. Положення зіркоподібною пружини 3 зафіксовано на внутрішній півмуфті 1 стопорним кільцем 9.

Муфта запобіжна пружна працює так. При обертанні внутрішньої півмуфти 1, обертальний момент через зіркоподібну плоску пружину 3 та заглибини 7 і 8 передається на зовнішню півмуфту 2. В режимі перевантаження зіркоподібна пружина 3 деформується, зменшуючись у діаметрі по своєму зовнішньому контуру, при цьому сторони 4 і 5 виступів 6 вигинаються в сторони своїх випуклостей, забезпечуючи деформацію зіркоподібною плоскою пружини 3 в межах пружної деформації і виходять із заглиблень 8 зовнішньої півмуфти 2, радіус заокруглень яких більший радіусів заокруглень виступів 6 та проковзують по

циліндричній поверхні зовнішньої півмуфти 2 до тих пір поки обертальний момент не зменшиться до номінального значення.

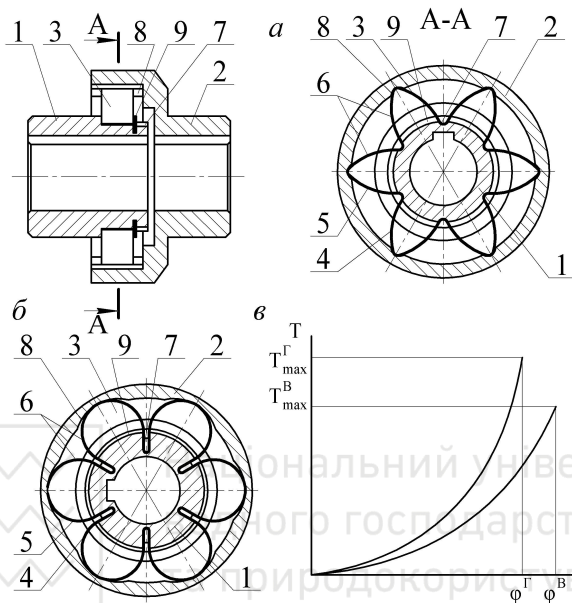


Рис. 1.33. Муфта пружна зіркоподібною пружиною:
а – параболічні виступи; б – кругові виступи; в – графіки жорсткості виступів

Муфта запобіжна пружна має підвищену довговічність, особливо при циклічній роботі виконавчого механізму, та покращені технічні характеристики за рахунок удосконалення конструкції пружного елемента у вигляді зіркоподібної плоскої пружини.

Муфта запобіжна з складеною зіркоподібною пружиною [121] (рис. 1.34) містить внутрішню 1 і зовнішню 2 півмуфти, з'єднані між собою складеною зіркоподібною пружиною 3 із однакових виступів 4, бічні поверхні 5 і 6 яких виконані випуклими в сторону від осі симетрії, відігнуті кінці 7 виступів 4 встановлені в заглибини 8 внутрішньої півмуфти 1 і закріплені в них клинами 9, з деяким натягом, і гвинтами 10, а вершини виступів 4 розміщені в



заглибинах 11 зовнішньої півмуфти 2, причому заглибини 11 виконані з радіусом більшим радіусів заокруглень вершин виступів 4.

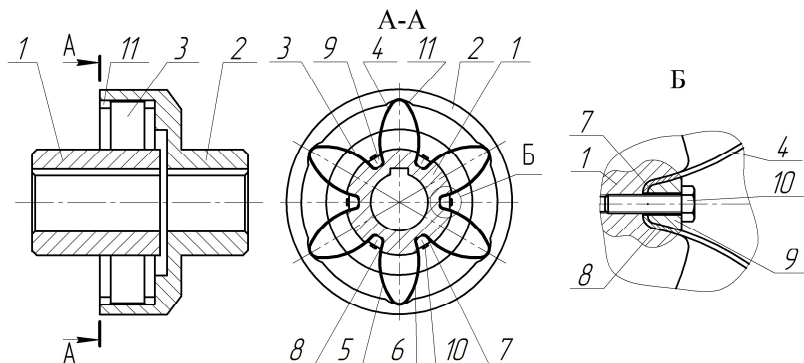


Рис. 1.34. Муфта пружна з зіркоподібною складеною пружиною

Муфта запобіжна з складеною зіркоподібною пружиною збирається в такому порядку. На початку в заглибини 8 внутрішньої півмуфти 1 встановлюють відігнуті кінці 7 виступів 4 і закріплюють їх клинами 9, з деяким натягом, і гвинтами 10. Далі зібрану внутрішню півмуфту 1 з складеною зіркоподібною пружиною 3 встановлюють у зовнішню півмуфту 2. Муфта запобіжна з складеною зіркоподібною пружиною 3 готова до роботи.

Муфта запобіжна з складеною зіркоподібною пружиною працює так. При обертанні внутрішньої півмуфти 1, обертальний момент через складену зіркоподібну пружину 3 передається на зовнішню півмуфту 2. В режимі перевантаження складена зіркоподібна пружина 3 деформується, зменшуючись у діаметрі по своєму зовнішньому контуру, при цьому поверхні 5 і 6 виступів 4 вигинаються в сторони своїх випуклостей, забезпечуючи деформацію складеної зіркоподібної пружини 3 в межах пружної деформації і виходять із заглиблень 11 зовнішньої півмуфти 2, радіус заокруглень яких більший радіусів заокруглень вершин виступів 4 та проковзують по циліндричній поверхні зовнішньої півмуфти 2 до тих пір поки обертальний момент не зменшиться до номінального значення. При втраті міцності окремими виступами 4 вони замінюються новими.



Муфта запобіжна з складеною зіркоподібною пружиною має підвищену довговічність і менші витрати при заміні окремих виступів, які втратили міцність при перевантаженій циклічній роботі виконавчого механізму.

Муфта запобіжна пружна [120] (рис. 1.35) складається з внутрішньої 1 і зовнішньої 2 півмуфт, з'єднані між собою зіркоподібною пружиною 3 з виступами 4, бічні поверхні 5 і 6 яких виконані випуклими в сторону від осі симетрії, а вершини 7 округленими. У вершинах 7 встановлені ролики 8 на осях 9 прикріплених до вершин 7 відомими способами. Зіркоподібна пружина 3 з виступами 4 встановлена в заглибини 10 і 11 півмуфт 1 і 2, причому заглиблення 11 виконані з радіусом більшим радіусів заокруглень виступів 4. Положення зіркоподібної пружини 3 зафіксовано на внутрішній півмуфті 1 стопорним кільцем 12.

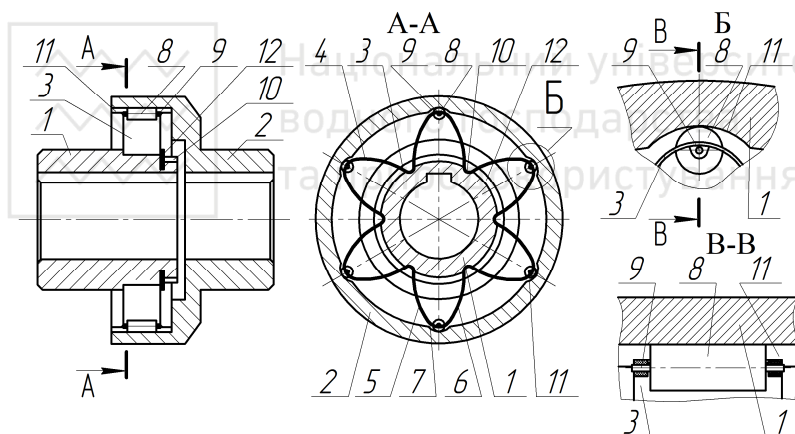


Рис. 1.35. Муфта пружна з зіркоподібною пружиною з встановленими роликами у вершині виступів

Муфта запобіжна пружна працює так. При обертанні внутрішньої півмуфти 1, обертальний момент через зіркоподібну пружину 3 передається на зовнішню півмуфту 2. В режимі перевантаження зіркоподібна пружина 3 деформується, зменшуючись у діаметрі по своєму зовнішньому контуру, при цьому поверхні 5 і 6 виступів 4 вигинаються в сторони своїх випуклостей, забезпечуючи деформацію зіркоподібної пружини 3 в межах пружності та виходять із заглибин 11 зовнішньої півмуфти 2,



радіус заокруглень яких більший радіусів заокруглень вершин 7 виступів 4 та проковзують по циліндричній поверхні зовнішньої півмуфти 2 до тих пір поки обертальний момент не зменшиться до номінального значення. Так як контакт виступів 4 з заглибинами 11 зовнішньої півмуфти 2 здійснюється через циліндричні ролики 8, які обертаються на осях 9, то тертя ковзання вершини 7 замінюється тертям кочення.

Муфта запобіжна пружна має підвищену довговічність за рахунок заміни тертя ковзання на тертя кочення вершин виступів зіркоподібної пружини.

Муфта запобіжна пружна [132] (рис. 1.36) складається з внутрішньої 1 і зовнішньої 2 півмуфт, з'єднаних між собою зіркоподібною пружиною 3, сторони 4 і 5 виступів 6 якої виконані випуклими в сторону від осі симетрії виступів 6, встановленою в заглибини 7 півмуфти 1, та 8 і 9 півмуфти 2, причому заглиблення 8 виконані глибше з радіусами r рівними радіусам вершин виступів 6, а заглиблення 9 мілкіше з радіусами r_1 більшими заокруглень виступів 6. Положення зіркоподібної пружини 3 в осьовому напрямку зафіксовано на внутрішній півмуфті 1 стопорним кільцем 10.

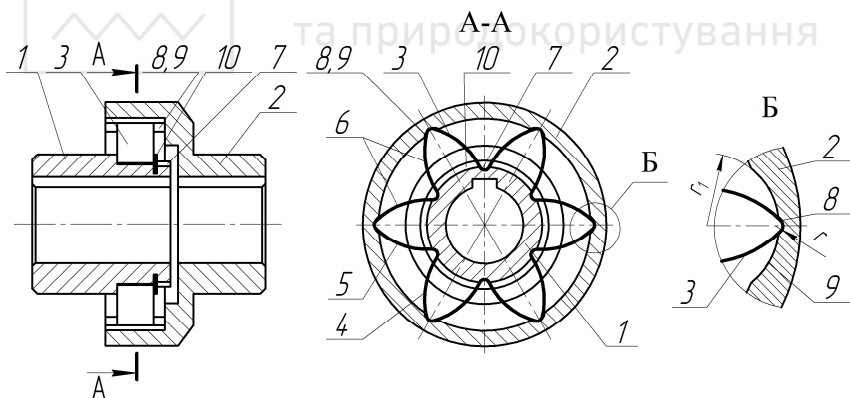


Рис. 1.36. Муфта пружна зіркоподібною пружиною з різними радіусами заглиблень

Муфта запобіжна пружна працює так. При обертанні внутрішньої півмуфти 1, обертальний момент через зіркоподібну пружину 3 та заглибини 7 і 8 передається на зовнішню півмуфту 2. При збільшенні обертального моменту виступи 6 частково деформуються і виходять із заглибини 8 на заглибину 9. В режимі



перевантаження зіркоподібна пружина 3 далі деформується, зменшуючись у діаметрі по своєму зовнішньому контуру, при цьому сторони 4 і 5 виступів 6 вигинаються в сторони своїх випуклостей, забезпечуючи деформацію зіркоподібної пружини 3 в межах пружності і виходять із заглибин 9 зовнішньої півмуфти 2, радіус r_1 заокруглень яких більший радіусів заокруглень виступів 6, та проковзують по циліндричній поверхні зовнішньої півмуфти 2 до тих пір, поки обертальний момент не зменшиться до номінального значення.

Муфта запобіжна пружна має підвищену несучу здатність та покращені технічні характеристики за рахунок удосконалення конструкції заглибин на внутрішній поверхні у зовнішній півмуфті.

На рис. 1.37 показана модель однієї нової муфти пружної з зіркоподібною пружиною, створеної в системі 3D в зібраному і в розібраному вигляді.



Рис. 1.37. Моделі запобіжної пружної муфти:
a – в зібраному і *б* – в розібраному вигляді

Використання комп'ютерного моделювання при проектуванні муфти пружної дозволяє: на початковій стадії проектування отримати візуальне уявлення про муфту та її складові, оглянути її з будь-якої точки; підвищити точність, досягати великої економії часу і витрат на проектування; легко редагувати трьохмірну модель муфти, тобто вносити необхідні зміни; отримати велике число можливих варіантів проектних рішень для муфти і на основі глибокого аналізу вибрати найкращий.



2. КЕРОВАНІ МУФТИ

2.1. Гідравлічна муфта

Гідравлічна муфта [45] (рис. 2.1) складається із зовнішньої 1 і внутрішньої 2 півмуфт встановлених відповідно на валах 3 і 4, з'єднаних з ними шпонками 5 і 6. Внутрішня ведена півмуфта 2 виконана у вигляді зубчастого колеса. Зовнішня півмуфта 1 складається з порожнистого з двох торців циліндричного корпусу 7 з одного торця якого запресована циліндрична обойма 8. На внутрішній циліндричній поверхні 9 циліндричного корпусу 7 виконані дві кільцеві канавки 10 і 11, на зовнішній поверхні 12 циліндричної обойми 8 виконані такі ж кільцеві канавки 13 і 14, таким чином, що при запресовці циліндричної обойми 8 у циліндричний корпус 7 утворені два геометричних кільцевих канали 15 і 16. На внутрішній циліндричній поверхні циліндричної обойми 8 виконані осесиметричні осьові циліндричні вирізи з кутовим кроком $p=360^\circ/z$ ($z>2$ – число рухомих зубчастих коліс) у які встановлені зубчасті колеса, наприклад, 17, 18, 19 і 20 на осях 21, тобто чотири рухомих зубчастих колеса ($z=4$) з кутовим кроком $p=90^\circ$.

Зубчасті колеса 17, 18, 19 і 20 входять у зачеплення з зубчастим колесом 2 утворюючи багато шестеренчастий гідравлічний насос з порожнинами всмоктування і нагнітання з'єднаними з кільцевими каналами 15 і 16 відповідно радіальними каналами 22, 23, 24, 25 і 26, 27, 28, 29. Порожнина з зубчастими колесами 2, 17, 18, 19, 20 закрита кришкою-фланцем 30 за допомогою гвинтів 31 і загерметизована нерухомим ущільненням 32, а стик між торцем зубчастого колеса 2 і фланцем 30 загерметизований рухомим ущільненням 33. З другого торця циліндричного корпусу 7 виконана циліндрична порожнина 34 для розміщення робочої рідини і закрита фланцем 35 за допомогою гвинтів 36, загерметизована нерухомими ущільненнями 37 і 38. Для заповнення циліндричної порожнини 34 робочою рідиною служить зворотній клапан 39. З'єднання кільцевих каналів 15 і 16 між собою здійснюється золотниками 40 за допомогою важеля 41 і підшипника 42 встановлених на маточині кришки-фланця 30 і зафіксованих від осьового переміщення назовні пружною шайбою 43. Порожнина з зубчастими колесами 2, 17, 18, 19 і 20, кільцеві



канали 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28 і 29 заповнюються робочою рідиною через зворотній клапан 44, осьовий отвір 45 заглушений з одного торця пробкою 46. Важіль 41 опирається на пружину 47.

Гідравлічна муфта працює наступним чином. На початку порожнина 34, кільцеві канали 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 і порожнина з зубчастими колесами 2, 17, 18, 19, 20 заповнюються робочою рідиною через зворотні клапани 39, 44, осьовий канал 45 і золотники 40.

Обертання від вала 3 через шпонку 5 передається зовнішній півмуфті 1 з встановленими у ній на осях 21 рухомими зубчастими колесами 17, 18, 19, 20 до вала 4 через зубчасте колесо 2 – внутрішню півмуфту, з'єднану з ним шпонкою 6. Зачеплення рухомих зубчастих коліс 17, 18, 19, 20 з зубчастим колесом 2 (внутрішньою пів муфтою) утворюють багато шестеренчастий гідронасос так, що через радіальні канали 22, 23, 24, 25 із кільцевого каналу 15 засмоктується робоча рідина і нагнітається в радіальні канали 26, 27, 28, 29, а із них у кільцевий канал 16.

Так як кільцевий канал 16 закритий, не має зв'язку з кільцевим каналом 15, то багато шестеренчастий гідронасос знаходиться у запертому стані, рухомі зубчасті колеса 17, 18, 19, 20 не обертаються і за рахунок цього здійснюється сумісне обертання зовнішньої півмуфти 1 з внутрішньою веденою півмуфтою 2, а з ними і обертання валів 3 і 4. Для зупинки вала 4 натискають на підшипник 42 через нього на важіль 41, а далі на золотники 40 – чим з'єднують кільцеві канали 15 і 16 між собою. Таким чином, робоча рідина заперта у кільцевому каналі 16 переходить у кільцевий канал 15 – утворюється замкнута циркуляційна гідросистема, де робоча рідина із каналу 15 засмоктується через радіальні канали 22, 23, 24, 25 і нагнітається у радіальні канали 26, 27, 28, 29, кільцевий канал 16, а далі через золотники 40 у кільцевий канал 15. Зовнішня півмуфта 1 обертається, її рухомі зубчасті колеса 17, 18, 19, 20 обертаються і оббігають зубчасте колесо 2 – внутрішню півмуфту, яка не обертається, а з нею не обертається і вал 4. Для обертання вала 4 відпускають підшипник 42, а з ним важіль 41, який повертається пружинами 47 у початкове положення – золотники 40 роз'єднують кільцеві канали, що приводить багато шестеренчастий гідронасос в заперте положення – вали 3 і 4 обертаються сумісно.



конструкції золотників 40. Якщо золотники 40 постійно роз'єднують кільцеві канали 15 і 16 – то режим постійно замкнутий, тобто обертання передається від вала 3 до вала 4 постійно; якщо золотники 40 постійно з'єднують кільцеві канали 15 і 16 – то режим постійно розімкнутий, тобто обертання не передається від вала 3 до вала 4. Якщо гідросистема гідравлічної муфти не повністю заповнена робочою рідиною, тоді додаткова робоча рідина поступає із порожнини 34 через зворотній клапан 44 осьовий канал 45 у кільцевий канал 15.

Така гідравлічна муфта покращує умови роботи механічного привода за рахунок зменшення відцентрових сил, підвищує довговічність валів, розширюється область її застосування порівняно з аналогами.





3. САМОКЕРОВАНІ МУФТИ

На основі аналізу способів передачі обертального моменту і конструкцій муфт для їх реалізації, описаних у літературі [1; 4; 6; 7; 17; 19-21], розроблені нові способи передачі обертального моменту [57; 72; 101]. Суть способу, що наведений в [57; 101], полягає в тому, що контакт ведучої та веденої півмуфти і створення тертя між ними виконується осьовою силою, яка виникає за рахунок тиску повітря від інерційності маси ведучої півмуфти, встановленої на ведучому валу на косих шліцах, або на несамогальмівній нарізі. Запропонований спосіб передачі обертального моменту забезпечує високу плавність вмикання муфти з одночасним зменшенням часу неусталеного режиму, що забезпечує зменшення динамічного навантаження на вали, а як наслідок, зменшення нагрівання поверхонь тертя та їх спрацювання. Спосіб [72] передачі обертального моменту муфтою полягає в з'єднанні двох її півмуфт за рахунок розрідження, яке створюється між ведучою і веденою півмуфтами. Будова та принцип роботи цих муфт наводяться нижче.

3.1. Відцентрово-фрикційні муфти

Муфта пружно-відцентрова [59] (рис. 3.1) складається з ведучої півмуфти 1 з кільцевим прорізом 2 і криволінійним пазом 3 дотичним до кільцевого прорізу 2, пружного елемента 4 у вигляді рукава, глухим кінцем 5 закріпленого нарізевим елементом 6 до ведучої півмуфти 1, веденої півмуфти 7, з кільцевим прорізом 8 і криволінійним пазом 9, дзеркальним пазу 3 і виконаним дотичним до кільцевого прорізу 8.

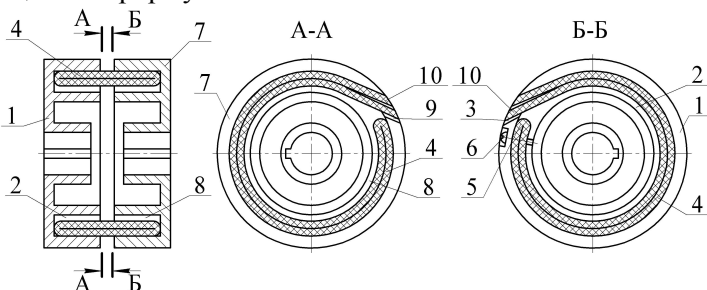


Рис. 3.1. Муфта пружно-відцентрова до роботи



В зібраному стані пружно-відцентрової муфти відкритий кінець 10 рукава 4 знаходиться в пазах 3 і 9 півмуфт 1 і 7.

Муфта пружно-відцентрова працює так. При обертанні ведучої півмуфти 1 пружний елемент 4 у вигляді рукава під дією відцентрової сили притискається до зовнішньої поверхні кільцевого прорізу 8 веденої півмуфти 7.

Далі при одночасному обертанні півмуфт 1 і 7, завдяки розміщенню відкритого кінця рукава 10 в дзеркальних криволінійних пазах 3 і 9 пружний елемент 4 наповнюється повітрям від зустрічного потоку так, що він буде притискатись до внутрішньої поверхні кільцевого прорізу 8 веденої півмуфти 7 (рис. 3.2). Завдяки цьому муфта пружно-відцентрова передає більший обертальний момент без зміни її габаритів

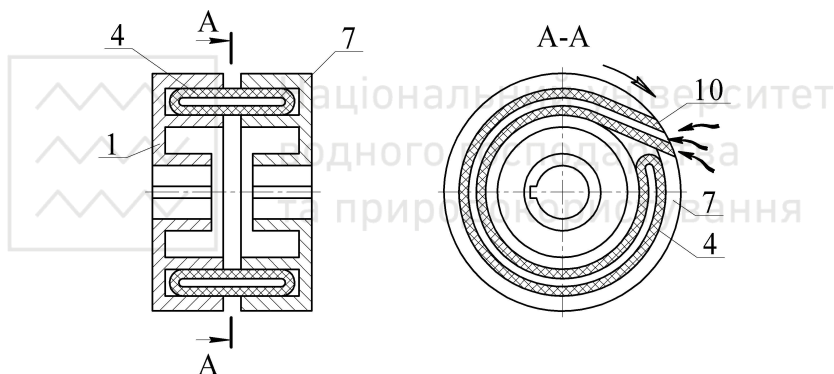


Рис. 3.2. Муфта пружно-відцентрова під час роботи

Така муфта пружно-відцентрова може працювати і в реверсному режимі при перестановці півмуфт на валах і закріпленні пружного елемента 4 відповідно на півмуфті 7.

Муфта пружно-відцентрова має більшу довговічність і забезпечує передачу підвищених обертальних моментів без збільшення габаритів.

Муфта пружно-відцентрова [56] (рис. 3.3) складається з ведучої чашоподібної півмуфти 1 з кільцевим прорізом 2 і закріпленим в ньому при допомозі гвинтів 3 пружного елемента 4, виконаного у вигляді рукава циліндричної форми, з поздовжніми пазами 5, рівномірно розміщених по колу, та веденої чашоподібної півмуфти 6 з внутрішньою конічною поверхнею 7. Виконані



поздовжні пази 5 у пружному елементі 4 утворюють гнучкі пружні його частини 8.

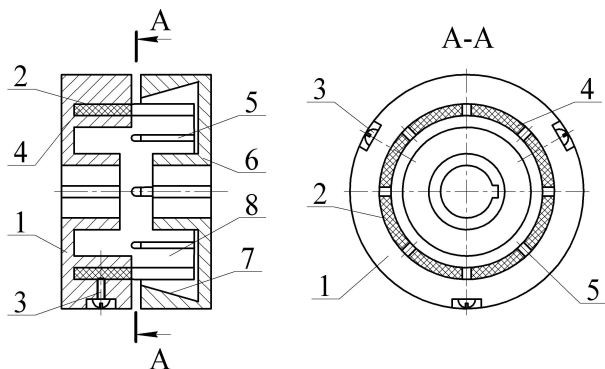


Рис. 3.3. Муфта пружно-відцентрова з прорізаним пружним елементом до роботи

Функціонування цієї муфти відбувається за такою послідовністю. При обертанні ведучої чашоподібної півмуфти 1, а відповідно і пружного елемента 4 пружні його кінці 8 під дією відцентрової сили будуть притискатись до конічної поверхні 7 веденої чашоподібної півмуфти 6 і за рахунок сили тертя передавати обертальний момент до веденої півмуфти. Завдяки конусності поверхні тертя муфта пружно-відцентрова передає більший обертальний момент без зміни її габаритів.

Така муфта пружно-відцентрова може працювати в прямому і реверсному режимах, має більшу довговічність і забезпечує плавність передавання обертальних моментів. Робочий стан муфти і пружний елемент наведено на рис. 3.4.

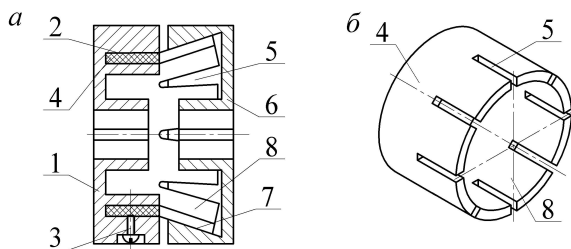


Рис. 3.4. Муфта пружно-відцентрова:

a – положення пружного елемента під час роботи; *б* – пружний елемент



Муфта пружно-відцентрова [60] (рис. 3.5) складається з ведучої півмуфти 1 з поздовжніми пазами 2, дотичними до її зовнішнього діаметра, і розміщеними у них пружними криволінійними елементами 3, рівномірно розміщених по колу, та веденої півмуфти 4 з коловими радіальними западинами 5 вздовж осі обертання на внутрішній поверхні 6.

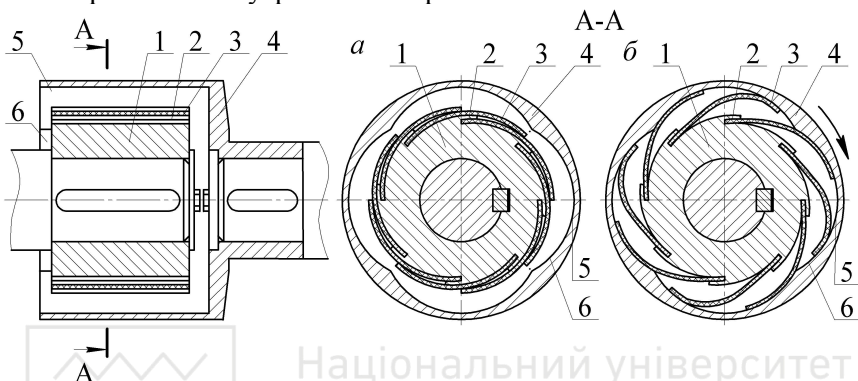


Рис. 3.5. Муфта пружно-відцентрова, положення пружного елемента:
а – до роботи; *б* – під час роботи

Муфта пружно-відцентрова працює так. При обертанні ведучої півмуфти 1 пружні криволінійні елементи 3 під дією відцентрової сили відхиляються від її зовнішньої поверхні і притискаються до внутрішньої поверхні 6 веденої півмуфти 4. При цьому пружні криволінійні елементи 3 прилягають до поверхонь колових радіальних западин 5 і сила тертя між пружними криволінійними елементами 3 і внутрішньою поверхнею 6 веденої півмуфти 4 збільшується, так як для проковзування пружного елемента 3 відносно веденої півмуфти 4 необхідно подолати силу пружності пружних криволінійних елементів 3, які знаходяться в колових радіальних западинах 5. Завдяки цьому муфта пружно-відцентрова передає більший обертальний момент без зміни її габаритів.

Така муфта пружно-відцентрова може працювати в прямому і реверсному режимах, має більшу довговічність і забезпечує передачу підвищених обертальних моментів без збільшення габаритів.

Муфта пружно-відцентрова [68] (рис. 3.6) складається з ведучої півмуфти 1 з кільцевим прорізом 2 і поздовжніми



радіальними сегментними западинами 3 на внутрішній поверхні прорізу 2, веденої півмуфти 4 з кільцевим прорізом 5 і поздовжніми радіальними сегментними западинами 6 на внутрішній поверхні прорізу 5 та пружного елемента 7 у вигляді циліндричного рукава з поздовжнім розрізом 8 та повздовжніми радіальними виступами у вигляді сегментів 9.

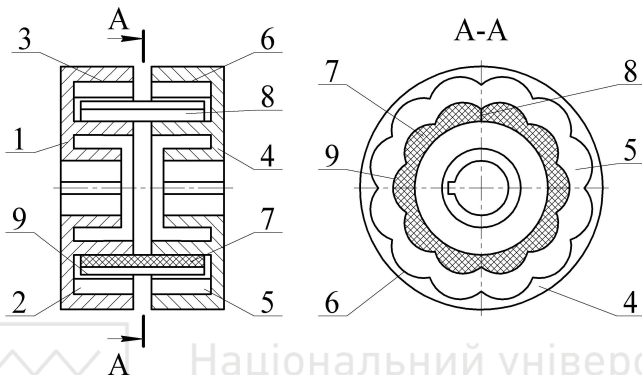


Рис. 3.6. Муфта пружно-відцентрова до роботи

Муфта пружно-відцентрова працює так. При обертанні ведучої півмуфти 1 пружний елемент 7 у вигляді циліндричного рукава під дією відцентрової сили своєю зовнішньою поверхнею з поздовжніми радіальними виступами у вигляді сегментів 9

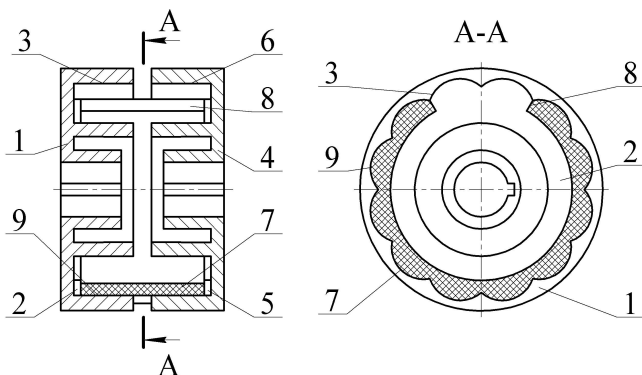


Рис. 3.7. Муфта пружно-відцентрова під час роботи

притискається до внутрішніх поверхонь кільцевого прорізу 2



ведучої півмуфти 1 та кільцевого прорізу 5 веденої півмуфти 4, при цьому поздовжні радіальні виступи у вигляді сегментів 9 пружного елемента 7 співпадають з поздовжніми радіальними сегментними западинами 3 ведучої півмуфти 1 та поздовжніми радіальними сегментними западинами 6 веденої півмуфти 4. Завдяки цьому муфта пружно-відцентрова передає більший обертальний момент без зміни її габаритів. Така пружно-відцентрова муфта може працювати і в реверсному режимі.

Муфта пружно-відцентрова має більшу довговічність і забезпечує передачу підвищених обертальних моментів без збільшення габаритів.

Муфта пружно-відцентрова [62] (рис. 3.8) складається з ведучої півмуфти 1 з поздовжніми пазами 2, дотичними до її зовнішнього діаметра, і розміщеними у них пружними криволінійними елементами 3 з поздовжніми виступами 4 та западинами 5 на зовнішній плоскій поверхні тертя, наприклад, у вигляді трапецевидних профілів, та веденої півмуфти 6 у вигляді барабана, на внутрішній поверхні якого виконані ідентичні колові виступи 7 і западини 8.

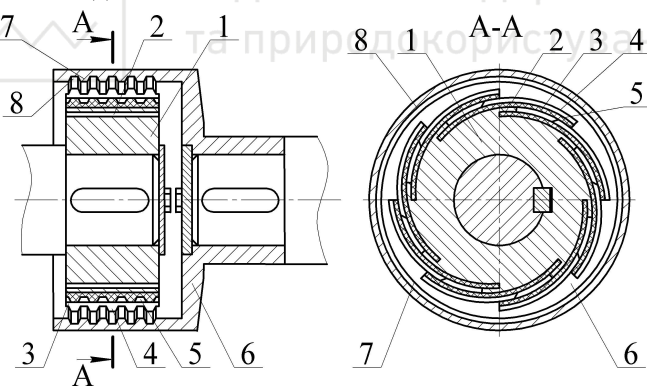


Рис. 3.8. Муфта пружно-відцентрова до роботи

Муфта пружно-відцентрова працює так. При обертанні ведучої півмуфти 1 пружні криволінійні елементи 3 під дією відцентрової сили відхиляються від її зовнішньої поверхні і притискаються до внутрішньої поверхні веденої півмуфти 6. При відцентровому відхиленні пружних криволінійних елементів 3, їх виступи 4 розміщуються в западинах 8 веденої півмуфти, а виступи 7 веденої півмуфти розміщуються в западинах 5 пружних

Technical drawing of a mechanical assembly, showing a cross-section (left) and a top view (right).

Left View (Cross-section):

- 1: Central shaft.
- 2: Key.
- 3: Hub.
- 4: Nut.
- 5, 6, 7, 8: Washers.

Right View (Top view):

- 1: Central hole.
- 2: Key.
- 3: Hub.
- 4: Nut.
- 5, 6, 7, 8: Washers.

Section line A-A is indicated.

Рис. 3.9. Муфта пружно-відцентрова під час роботи

Така муфта пружно-відцентрова може передавати енергію двигуна в прямому і реверсному режимах, має більшу здатність передавати підвищені обертальні моменти без збільшення габаритів і спрощує виготовлення механічного привода.

Відцентрова пружна канатна муфта з радіальними пружними елементами [97] (рис. 3.10) складається з ведучої чашоподібної півмуфти 1 та співвісно розміщеної веденої внутрішньої півмуфти 2. У веденій внутрішній півмуфті 2 встановлені одним кінцем радіальні пружні елементи 3, у вигляді канатів, в радіальних отворах 4 і закріплені гвинтами 5, а другим кінцем радіальні пружні елементи 3 встановлені в радіальні отвори 6 рухомих вантажів 7 і закріплені гвинтами 8. Рухомі вантажі 7 встановлені в напрямних 9 ведучої чашоподібної півмуфти 1. Зі сторони веденої внутрішньої півмуфти 2 на торці ведучої чашоподібної півмуфти 1 по колу у радіальному проміжку між півмуфтами 1 і 2 жорстко встановлені пальці 10 з радіальними отворами 11, через які проходять радіальні пружні елементи 3 і взаємодіють з виступами 10. Радіальні пружні елементи 3 у вигляді канатів мають здатність розтягуватись у межах пружних деформацій.

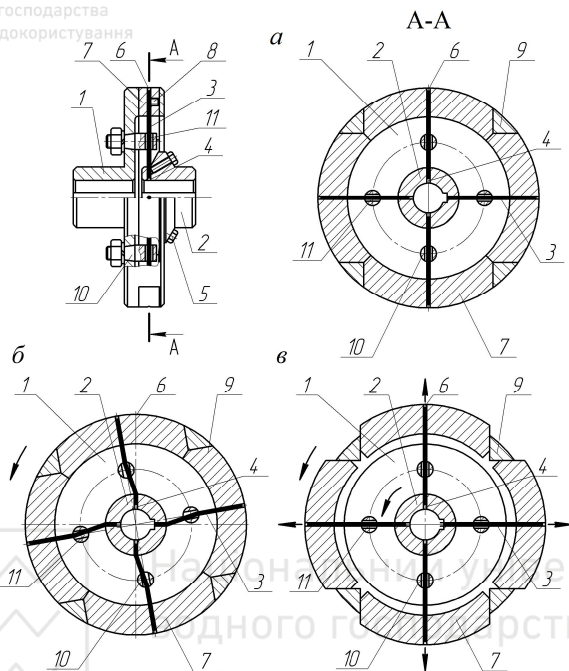


Рис. 3.10. Відцентрова пружна канатна муфта з радіальними пружними елементами: *а* – перетин А-А; *б* – поздовжня форма пружних елементів на початку передачі обертового моменту; *в* – муфта в робочому стані при сталому обертанні ведучої і веденої півмуфт

Відцентрова пружна канатна муфта з радіальними пружними елементами працює так. У початковий момент обертання ведучої півмуфти 1 виступи 10 у вигляді пальців через радіальні отвори 11 деформують радіальні пружні елементи 3 у вигляді канатів, розтягуючи їх в межах пружної деформації до того часу, коли ведена внутрішня півмуфта 2 почне обертатись з частотою ведучої чашоподібної півмуфти 1. В цей період, за рахунок пружності радіальних пружних елементів 3 у вигляді канатів пом'якшується динамічне навантаження як на елементи самої муфти так і на привод в цілому. В подальшому, при обертанні півмуфт 1 і 2 з однаковою частотою в усталеному режимі, вантажі 7, під дією відцентрових сил, рухаються в радіальному напрямку від осі обертання муфти в напрямках 9 і натягують радіальні пружні елементи 3 у вигляді канатів, змінюючи їх жорсткість, яка

забезпечує демпфування коливань та амортизацію поштовхів і ударів. Встановлення рухомих вантажів 7 у ведучій чашоподібній півмуфті 1 забезпечує швидкий перехід муфти в усталений режим роботи при прямому і реверсному передаванні обертального моменту.

Відцентрова пружна канатна муфта з радіальними пружними елементами забезпечує підвищення експлуатаційних якостей та технологічних можливостей при передачі обертального моменту на підвищених обертах ведучого вала в реверсному режимі шляхом оптимального режиму демпфування і компенсування поштовхів та ударів за рахунок забезпечення відповідної жорсткості пружних елементів.

Муфта інерційно-відцентрова пружна [104] (рис. 3.11) складається з ведучої чашоподібної півмуфти 1 з жорстко встановленими виступами у вигляді пальців 2 з радіальними отворами 3, розміщеної на ведучому валу 4 за допомогою, наприклад, несамогальмівної нарізі 5, витки якої направлені в сторону обертання ведучого вала і підпружиненої пружиною 6 через упорний підшипник 7 в напрямку від веденої півмуфти 8, встановленої на веденому валу 9.

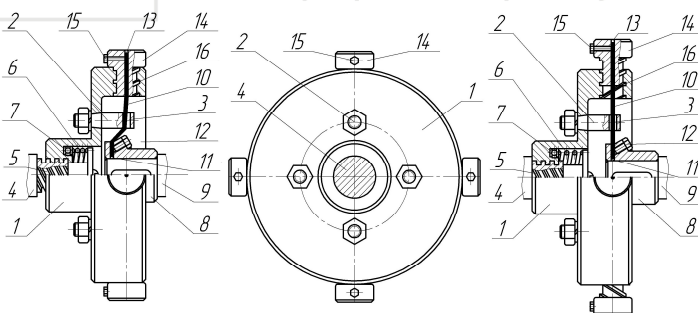


Рис. 3.11. Муфта інерційно-відцентрова канатна

У веденій півмуфті 8 радіально встановлені канати 10 і одним кінцем закріплені в радіальних отворах 11 за допомогою гвинтів 12, а другим кінцем канати 10 встановлені в радіальні отвори 13 рухомих вантажів 14 і закріплені гвинтами 15. Рухомі вантажі 14 встановлені з можливістю поступально-обертального руху у ведучій чашоподібній півмуфті 1 за допомогою, наприклад, косих



шліців або несамогальмівної нарізі 16. При з'єднанні веденої півмуфти 8 з вантажами 14 канати 10 проходять через радіальні отвори 3 виступів у вигляді пальців 2.

Муфта інерційно-відцентрова пружна працює так. В початковий момент обертання ведучого вала 4, ведуча півмуфта 1 під дією сили, що виникає від інертності її маси, зміщується на нарізі 5 в сторону веденої півмуфти 8, при цьому, пальцями 2 натягуються канати 10 і змінюється їх жорсткість. Крім натягування канатів 10 в осьовому напрямку, вони додатково натягуються в напрямку обертання ведучого вала 4. Такий процес з послідовною деформацією канатів 10 забезпечує плавну передачу обертального моменту від ведучого вала 4 на ведений вал 9. При усталеному режимі роботи машини і вирівнюванні обертів ведучого 4 та веденого 9 валів, рухомі вантажі 14 під дією відцентрових сил переміщуються в ведучій півмуфті 1 за допомогою, наприклад, косих шліців або несамогальмівної нарізі 16, виконуючи поступально-обертальний рух, натягують канати 10 в радіальному напрямку і закручуючи їх, що в свою чергу збільшує їх жорсткість. Тоді ведуча півмуфта 4, під дією сил пружності канатів 10 через пальці 2 і пружину 6 повертається в початкове положення. Муфта повністю переходить в робочий режим усталеного руху і працює як пружна, забезпечуючи при цьому за рахунок пружності та гнучкості канатів 10 демпфування коливань та амортизацію поштовхів та ударів.

Для більшого уявлення на рис. 3.11 показана модель однієї нової муфти пружної створеної в системі 3D в зібраному і в розібраному виглядах.

а

б

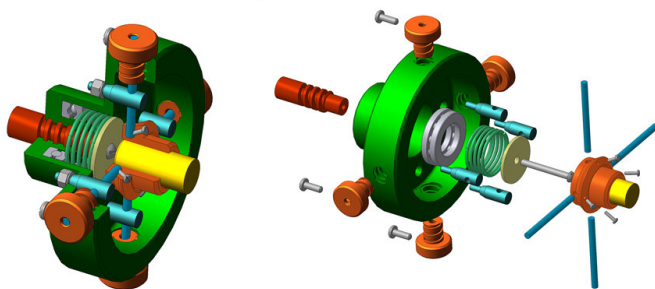


Рис. 3.11. Модель муфти інерційно-відцентрової пружної канатної:
а – в зібраному; б – в розібраному виглядах



Муфти інерційно-відцентрові пружні забезпечують плавну передачу обертального моменту в період пуску машини, або неусталеного режиму її роботи і покращують демпфуючі та компенсуючі характеристики за рахунок відповідної жорсткості пружних елементів та використання інерційності мас ведучої півмуфти.

3.2. Інерційно-вакуумні муфти

Муфта запобіжна інерційно-вакуумна [79] (рис. 3.12), складається з ведучої півмуфти 1, виконаної у вигляді еластичної тарілки, закріпленої за допомогою фланця 2 та гвинтів 3 на стакані 4 з внутрішніми косими шліцами 5, розміщеними на проміжній втулці 6 з такими ж шліцами на зовнішній поверхні.

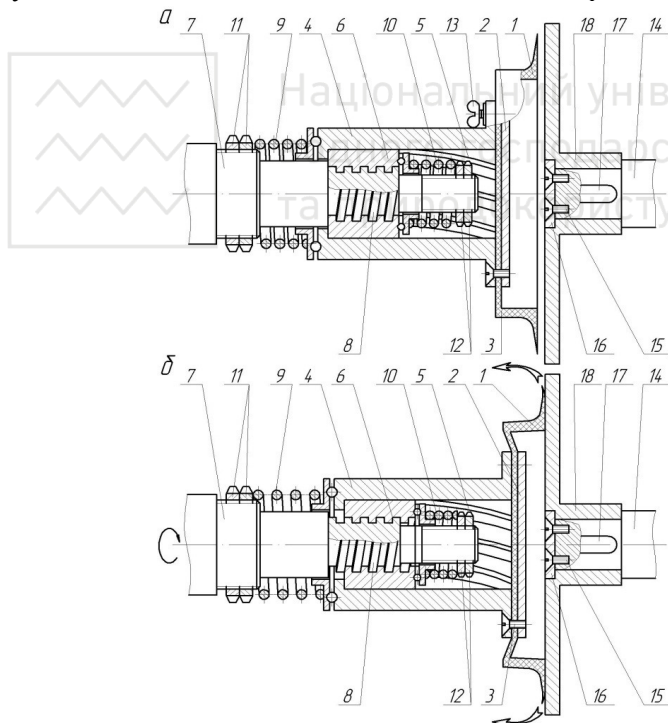


Рис. 3.12. Муфта запобіжна інерційно-вакуумна:
a – положення до роботи; *б* – робоче положення



Проміжна втулка 6 розміщена на ведучому валу 7 за допомогою нарізі 8, витки якої направлені в протилежну сторону нахилу шліців 5. Стакан 4 та проміжна втулка 6 підпружинені на ведучому валу 7 пружинами стиснення 9 і 10, відповідно, в протилежні сторони, причому пружність пружини 10 проміжної втулки 6 в стані спокою більша пружності пружини 9 стакана 4. Зміна пружності пружин регулюється гайками 11 і 12, що фіксуються подібними контргайками. Ведуча півмуфта має перепускний клапан 13. На веденому валу 14 за допомогою гвинтів 15, шайби 16 та шпонки 17 закріплена ведена півмуфта 18, виконана у вигляді упорного диска.

Ця запобіжна інерційно-вакуумна муфта працює так. При вмиканні двигуна, на початку обертання ведучого вала, сила радіального опору в нарізевому з'єднанні менша ніж сила радіального опору в шліцьовому з'єднанні з косими шліцями, тоді проміжна втулка з розмішеним на ній стаканом та ведучою півмуфтою під дією сили, що виникає від інертності їх мас, зміщується на нарізі ведучого вала до контакту з торцевою поверхнею веденої півмуфти. При цьому еластична тарілка деформується і повітря витискається в атмосферу, а торцева поверхня притискається до торцевої поверхні веденої півмуфти. Далі, при обертанні ведучого вала і зміщенні проміжної втулки в крайнє положення, стакан під дією тієї ж сили, що виникає від інертності мас ведучої півмуфти, зміщується від веденої півмуфти, повертаючи деформовану еластичну тарілку у вихідне положення. Завдяки цьому між ведучою і веденою півмуфтами виникає більше розрідження, яке забезпечує повне зчеплення півмуфт і муфта набуває робочого режиму.

При збільшенні обертального моменту на веденому валу, еластична тарілка деформується, щільність стику порушується і повітря з атмосфери попадає в зону розрідження між півмуфтами, що приводить до їх роз'єднання. Після цього, завдяки тому, що пружність пружини 10 проміжної втулки більша пружності пружини 9 стакана, проміжна втулка з розмішеним на ній стаканом з ведучою півмуфтою повертається у початкове положення, що зумовлює в подальшому повернення в початкове положення стакана. Для роз'єднання ведучої і веденої півмуфт при нормальному режимі роботи муфти, порожнина між ними за допомогою перепускного клапана з'єднується з атмосферою. В



наступному циклі вмикання двигуна процес зчеплення півмуфт повторюється.

В конструкції вище описаної запобіжної інерційно-вакуумної муфти ведуча півмуфта виконана у вигляді еластичної тарілки нестандартного виконання, однак для урізноманітнення технологічних можливостей та технічних характеристик інерційно-вакуумних муфт в їх конструкціях поряд з нестандартними еластичними елементами можуть використовуватись і класичні присоски різноманітних форм та виконань, так як принцип роботи таких муфт і схеми дії сил між їх ведучими і веденими елементами на принципі адгезії між контактними поверхнями будуть ідентичними. Так на рис. 3.13 показана схема присоски і дія в ній сил при передачі обертального моменту з ведучого вала на ведений, де: F_i – складова сили інерції ведучої півмуфти; F_a – сила адгезії ведучої та веденої півмуфт; F_f – сила тертя між ведучою півмуфтою (присоскою) та веденою півмуфтою; T – обертальний момент.

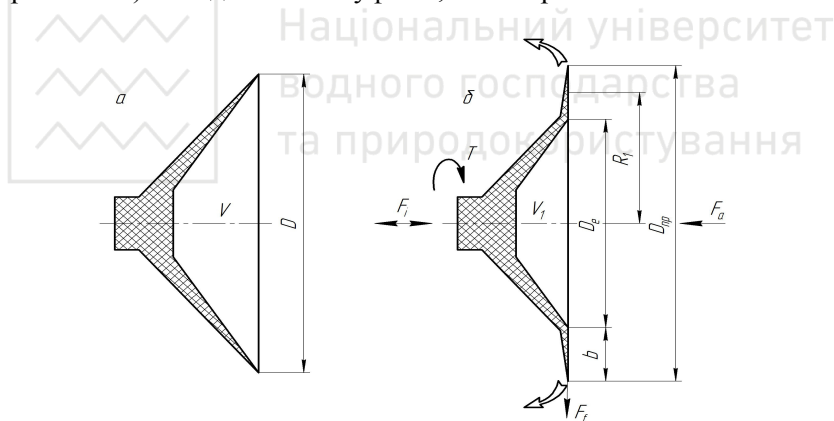


Рис. 3.13. Схема присоски і дія в ній сил при передачі обертального моменту: *a* – положення до роботи; *б* – робоче положення

Відповідно до принципу роботи муфти, після первинної деформації еластичної тарілки (присоски), і контакту її торцевої поверхні з поверхнею веденої півмуфти та витиснення повітря з під тарілки (присоски) між контактними поверхнями півмуфт виникає розрідження від складової сили інерції стакану

$$F_i = mR\omega^2 \cos \alpha, \quad (3.1)$$



де m – маса стакану; R – радіус інерції центра ваги стакану; w – номінальна кутова швидкість обертання ведучого вала; α – кут нахилу косих шліців стакану.

Нормальна сила притискання ведучого та веденого елементів муфти, що створюється адгезією між поверхнями контакту між присоскою та веденою півмуфтою складає

$$F_n = mR\omega^2 \cos \alpha - F_{np}, \quad (3.2)$$

де F_{np} – сили пружності пружини і еластичної тарілки (присоски).

$$F_{np} = mR\omega_0^2 \cos \alpha, \quad (3.3)$$

де ω_0 – кутова швидкість обертання ведучого вала при якій будуть подолані сили пружності пружини та присоски.

Підставивши (3.3) у (3.2) отримуємо

$$F_n = mR \cos \alpha (\omega^2 - \omega_0^2). \quad (3.4)$$

Відомо, що

$$F_n = \frac{\pi(D_{np} - 2b)^2}{4(P_0 - P_1)}, \quad (3.5)$$

де D_{np} – зовнішній діаметр присоски; b – ширина ущільнюючого поясочка; P_0 – тиск довкілля; P_1 – тиск всередині порожнини присоски (еластичної тарілки).

Прирівнявши вирази (3.4) і (3.5), отримуємо

$$mR \cos \alpha (\omega^2 - \omega_0^2) = \frac{\pi(D_{np} - 2b)^2}{4(P_0 - P_1)}. \quad (3.6)$$

З виразу (3.6) видно, що збільшення розрідження під присоскою (еластичною тарілкою), а відповідно, і нормальної сили притискання ведучого та веденого елементів муфти при сталих параметрах присоски і кутової швидкості обертання ведучого вала можна добитись збільшенням маси стакану, що призводить до збільшення обертального моменту, що передається з ведучого вала на ведений і визначається з виразу

$$T = \frac{F_f (D_{np} - b)}{2} = \frac{f F_n (D_{np} - b)}{2}, \quad (3.7)$$

де f – коефіцієнт тертя між поверхнями ведучого та веденого елементів муфти.

Більше того, відомо, що нормальна сила притискання за рахунок адгезії поверхонь при однаковому розрідженні під



присоскою буде більшою при використанні жорсткої присоски в порівнянні з еластичною присоскою. Тому використання в конструкціях інерційно-вакуумних муфт присосок з різноманітною жорсткістю, як по матеріалу, з якого вони виготовлені, так і по формі їх виконання, показаних на рис. 3.14, забезпечує урізноманітнення технічних характеристик та технологічних можливостей муфт відповідно до технологічних вимог при роботі кінематичного ланцюга.

Однак всі наведені варіанти виконання присосок, тобто варіанти виконання ведучих півмуфт в конструкціях інерційно-вакуумних муфт передбачають додатковий механізм притискання присосок (ведучих півмуфт) до контактних поверхонь ведених півмуфт і попереднього витиснення повітря з під присосок, що в свою чергу ускладнює конструкції муфт.

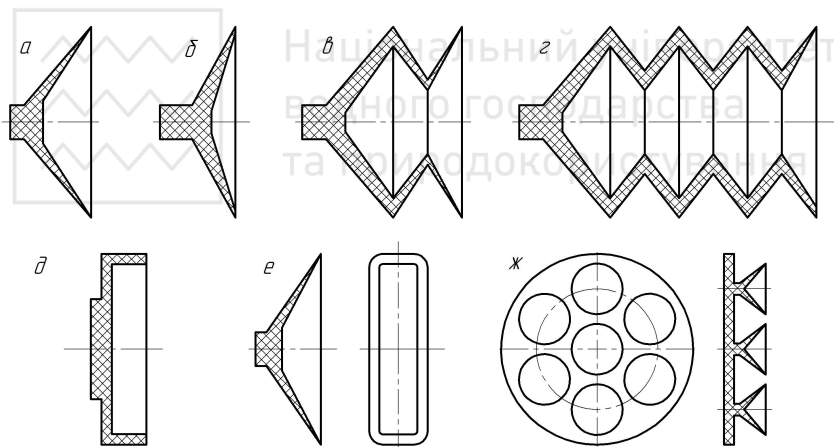


Рис. 3.14. Варіанти виконання присосок в інерційно-вакуумних муфтах:
a – конусна глибока; *б* – конусна плоска; *в* – у вигляді одноступеневого
сильфона; *з* – багатоступеневого сильфона; *д* – тарілчаста;
е – еліпсоподібна; *ж* – складена

Крім того для створення більшої величини розрідження під присоскою необхідний значний хід стакану на косих шліцах втулки. Тому була розроблена конструкція присоски (ведучої півмуфти) у



вигляді тарілчастої оберненої присоски підпружиненої в сторону веденої півмуфти пружиною стиснення (рис. 3.15).

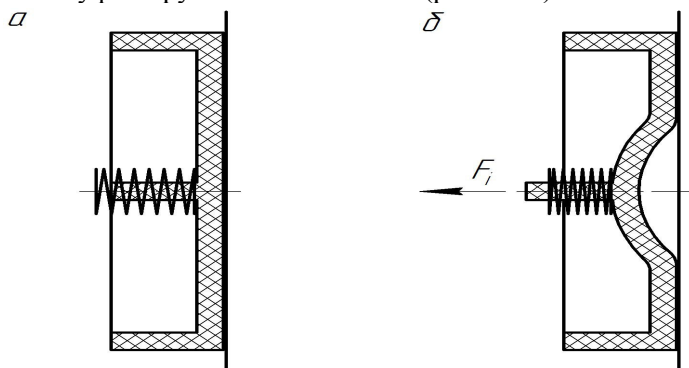


Рис. 3.15. Схема тарілчастої оберненої присоски: *a* – муфта в неробочому положенні; *б* – муфта в робочому положенні

Конструктивні особливості та властивості присосок визначають характер функцій жорсткості інерційно-вакуумних муфт, а нелінійність характеристики жорсткості муфт позитивно впливає на зниження резонансних амплітуд коливань. На рис. 3.16 показані характеристики інерційно-вакуумних муфт з різними варіантами виконання присосок (ведучих півмуфт).

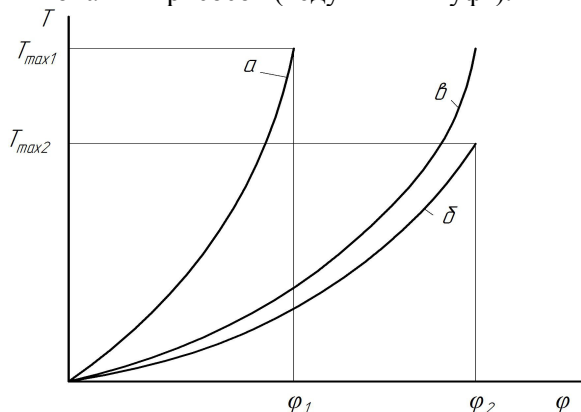


Рис. 3.16. Характеристики інерційно-вакуумних муфт з рівнозначним розрідженням під присоскою: *a* – з жорсткою присоскою; *б* – з еластичною присоскою; *в* – з тарілчастою оберненою присоскою



Із рис. 3.16 видно, що характер функції муфти з тарілчастою оберненою присоскою визначається насамперед конструктивними особливостями муфти, яка забезпечує створення розрідження під присоскою безпосередньо в момент вмикання ведучого вала та властивостями присоски, яка поряд з еластичністю має високу несучу здатність, що забезпечує передачу підвищеного обертового моменту.

На основі конструкції тарілчастої оберненої присоски була розроблена конструкція муфти інерційно-вакуумної регульованої [77]. Муфта інерційно-вакуумна регульовальна (рис. 3.17) складається з ведучої півмуфти 1, виконаної у вигляді еластичної тарілки з днищем 2, яка серединою внутрішньої поверхні днища 2 закріплена за допомогою гвинтів 3 та шайби 4 на підпружиненій, через упорний підшипник 5, пружиною 6 втулці 7. Втулка встановлена на ведучому валу 8 за допомогою несамогальмівної нарізі 9, витки якої направлені в сторону протилежну напрямку обертання ведучого вала 8. Пружність пружини 6 регулюється гайками 10. На нарізевий поверхні 11 ведучого вала 8 розміщений обмежувач 12 ходу втулки 7 з контргайкою 13. Ведуча півмуфта 1 зовнішньою поверхнею днища 2 знаходиться в постійному контакті з торцевою поверхнею веденої півмуфти 14, закріпленої за допомогою шайби 15, гвинтів 16 та шпонки 17 на веденому валу 18.

Принцип роботи муфти інерційно-вакуумної регульованої такий. В неробочому стані муфти ведуча та ведена півмуфти можуть вільно обертатись одна відносно одної. При вмиканні двигуна, в початковий момент обертання ведучого вала втулка під дією сили, що виникає від інертності мас ведучої півмуфти, пересилоючи пружність пружини зміщується на самогальмівній нарізі вздовж ведучого вала до контакту обмежувача ходу. В момент зміщення втулки, закріплене до неї серединою внутрішньої поверхні днище еластичної тарілки деформується в середній частині. Завдяки щільному приляганню крайніх торцевих зовнішніх поверхонь днища ведучої і веденої півмуфт, між ними виникає розрідження, яке приводить їх до зчеплення і передачі обертового моменту. Величина розрідження, а отже і сила зчеплення півмуфт, яка забезпечує величину обертового моменту, регулюється величиною ходу втулки за допомогою обмежувача. Відповідно при більшому ході втулки відбувається більша деформація днища ведучої півмуфти, а отже створюється



більше розрідження між півмуфтами, яке забезпечує передачу більшого обертового моменту.

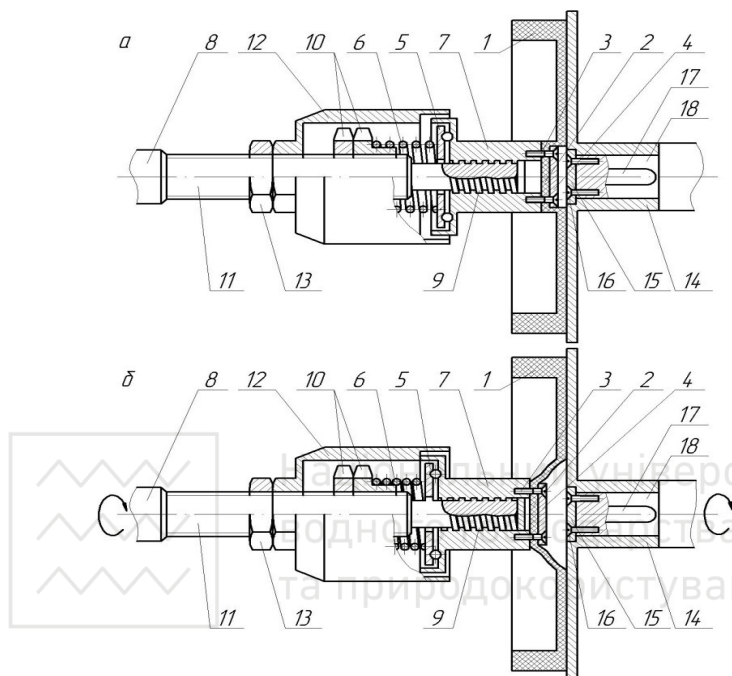


Рис. 3.17. Муфта інерційно-вакуумна регульована:
а – положення до роботи; *б* – робоче положення

В процесі роботи муфти, при збільшенні обертового моменту на веденому валу, крайні торцеві зовнішні поверхні днища еластичної тарілки деформуються і утворюються щілини, через які повітря з атмосфери попадає в зону розрідження між півмуфтами, що приводить до їх роз'єднання. При нормальній роботі муфти, без перевантаження, роз'єднання відбувається при плановій зупинці ведучого вала, при цьому втулка під дією пружини на несамогальмівній нарізі повертається у вихідне положення, розрідження між півмуфтами зникає і вони роз'єднуються.

Муфта інерційно-вакуумна запобіжна здійснює передавання обертового моменту за рахунок сил тертя, що створюються на поверхнях дотику контактних поверхонь муфти за рахунок адгезії



між цими поверхнями. В таких муфтах в порівнянні, наприклад, з традиційними фрикційними муфтами відсутній час холостого ходу, коли відбувається проковзування поверхонь дотику півмуфт.

На рис. 3.18 показані порівняльні характеристики залежності обертального моменту від часу при вмиканні фрикційної та інерційно-вакуумної запобіжної муфти, де $T_{оп}$ – момент сил опору; $T_{зч}$ – момент зчеплення муфти; T_{max} – максимальний обертальний момент; t_x – час холостого ходу; $t_{зч}$ – час зчеплення муфти; $t_{вмк}$ – час повного вмикання муфти.

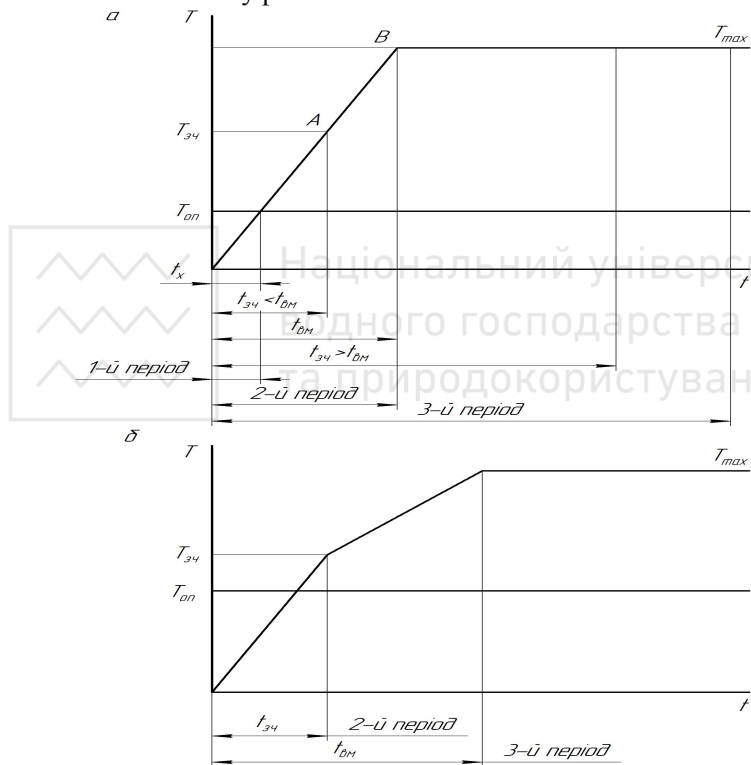


Рис. 3.18. Порівняльні характеристики залежності обертального моменту від часу при вмиканні муфти: а – фрикційної муфти; б – інерційно-вакуумної запобіжної муфти з тарілчастим елементом

З графіків видно, що час холостого ходу t_x в початковий момент обертання ведучого вала, тобто в перший період вмикання



муфти, який характеризується проковзуванням контактних поверхонь в фрикційній муфті, в інерційно-вакуумній муфті відсутній. У фрикційній муфті зчеплення ведучої та веденої півмуфт відбувається до точки B (рис. 3.18, a), після чого муфта обертається, як одне ціле. Крім того у фрикційній муфті час зчеплення, який залежить від величини зведеного моменту інерції ведених мас, моменту сил опору, кутової швидкості обертання ведучого вала та часу вмикання, може бути меншим часу вмикання, або більшим часу вмикання, що призводить до проковзування поверхонь контакту півмуфт і, відповідно нагрівання поверхонь тертя. У інерційно-вакуумній муфті перший період, подібно до фрикційної муфти, відсутній, а зчеплення півмуфт відбувається відразу у другому періоді за час $t_{зч}$ до досягнення муфтою моменту зчеплення $T_{зч}$ більшого моменту опору $T_{оп}$ з подальшим його зростанням до максимального обертального моменту T_{max} , причому зростання моменту від $T_{зч}$ до T_{max} відбувається більш плавно за рахунок пружності тарілчастого елемента.

Муфти інерційно-вакуумні можуть бути використані в кінематичних ланцюгах при передачі обертальних моментів з швидкохідних валів, особливо при роботі кінематичних ланцюгів в циклічних режимах.

3.3. Інерційно-пневматичні муфти

Муфта інерційна пневматична [76] (рис. 3.19) складається з ведучої півмуфти 1, встановленої на валу 2 та веденої півмуфти 3, встановленої на веденому валу 4 з розміщеним на ній чашоподібним гумовим балоном 5, на торцевій поверхні якого герметично встановлена еластична гофрована оболонка 6, яка своєю торцевою поверхнею 7 контактує з рухомою натискною втулкою 8. Натискна втулка встановлена на ведучому валу 2 за допомогою косого шліцьового з'єднання 9 і підпружинена в напрямку ведучої півмуфти 1 пружиною 10, пружність якої регулюється гайками 11. Нахил шліців шліцьового з'єднання 9 направлений в сторону протилежну напрямку обертання ведучого вала 2.

Муфта інерційна пневматична працює так. При вмиканні двигуна, в початковий момент обертання ведучого вала 2 з ведучою півмуфтою 1, рухома натискна втулка 8 під дією сили, що виникає



під дією інертності її мас, пересилюючи пружність пружини 10, зміщається в сторону еластичної гофрованої оболонки 6 до контакту з її торцевою поверхнею 7 і стискає її. При цьому повітря еластичної гофрованої оболонки 6 переходить у чашоподібний гумовий балон 5, де створюється додатковий тиск, від чого чашоподібний гумовий балон 5 збільшується в об'ємі та контактує з ведучою пів муфтою 1, що приводить до зчеплення півмуфт 1 і 3 – ведучий 2 і ведений 4 вали починають обертатись з однаковою кутовою швидкістю.

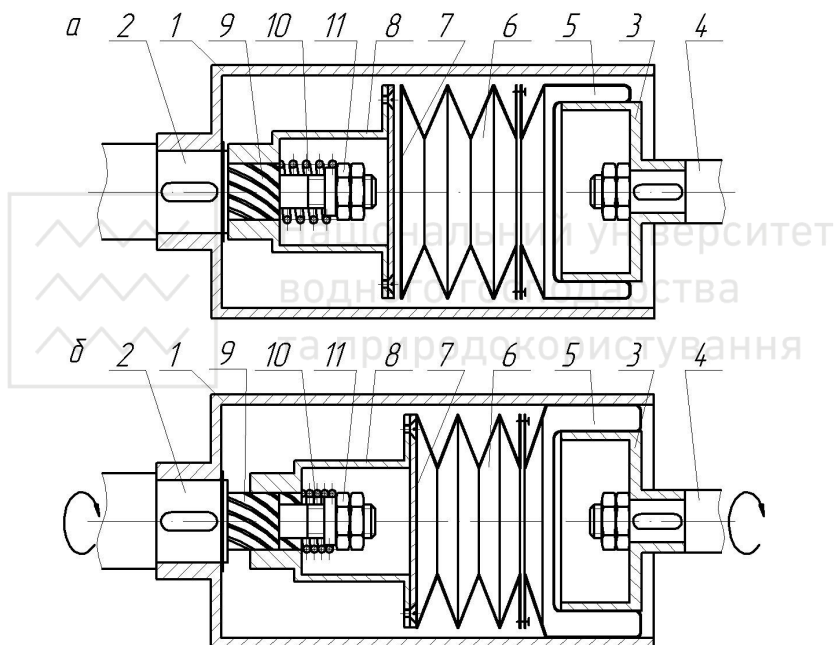


Рис. 3.19. Муфта інерційна пневматична:

а – положення до роботи; *б* – робоче положення

Сила тиску повітря в балоні 5 регулюється пружністю пружини 10, від якої залежить сила тиску натискної втулки 8 на еластичну гофровану оболонку 6, а відповідно додаткового тиску повітря в чашоподібному гумовому балоні 5. При зупинці ведучого вала 2, натискна втулка 8 під дією пружини 10 повертається у



вихідне положення, а еластична гофрована оболонка 6 під дією сил пружності розпрямляється і повітря з чашоподібного гумового балона 5 переходить в еластичну гофровану оболонку 6, тиск повітря в чашоподібному гумовому балоні 5 зменшується і муфта роз'єднується.

Муфта інерційна пневматична підвищує експлуатаційні показники якості та технологічні можливості шляхом забезпечення автоматичного вмикання муфти під час обертання ведучого вала, а також спрощення конструкції муфти за рахунок виключення системи подачі повітря в балони і необхідності їх кріплення до однієї із півмуфт.

Муфта інерційно-пневматична реверсивна [103] (рис. 3.20) складається з ведучої півмуфти 1, яка виконана з лівого 2 та правого 3 інерційних рухомих дисків, встановлених на ведучому валу 4 симетрично відносно його гладкої поверхні 5, за допомогою несамогальмівних правої 6 та лівої 7 нарізів і між якими через упорні підшипники 8 і 9 встановлена торова пневматична камера 10 з еліпсоподібним поперечним перетином, та веденої півмуфти 11 у вигляді циліндричної втулки-стакана, жорстко закріпленої за допомогою шпонки 12 і шайби 13 на веденому валу 14.

Виконання торової пневматичної камери 10 з еліпсоподібним поперечним перетином, поздовжня вісь якої паралельна поздовжній осі ведучого вала 4, забезпечує пневматичну камеру 10 жорсткістю достатньою для повернення інерційних дисків 2 або 3 в початкове положення після зупинки ведучого вала 4.

Муфта інерційно-пневматична реверсивна працює так. При вмиканні двигуна, в початковий момент лівостороннього обертання ведучого вала 4, рухомий інерційний диск 2, під дією сили, що виникає від інертності її маси, пересилюючи пружність торової пневматичної камери 10 і тиск повітря в самій камері, зміщується на нарізі 6 в сторону веденого вала 14 і деформує торову пневматичну камеру 10, яка в момент деформації внутрішньою поверхнею щільно облягає гладку циліндричну поверхню 5 ведучого вала 4, а зовнішньою поверхнею притискається до внутрішньої поверхні веденої півмуфти 11, виконаної у вигляді циліндричної втулки-стакана, що приводить до зчеплення півмуфт 1 і 11, ведучий 4 та ведений 14 вали починають обертатись з однаковою кутовою швидкістю.

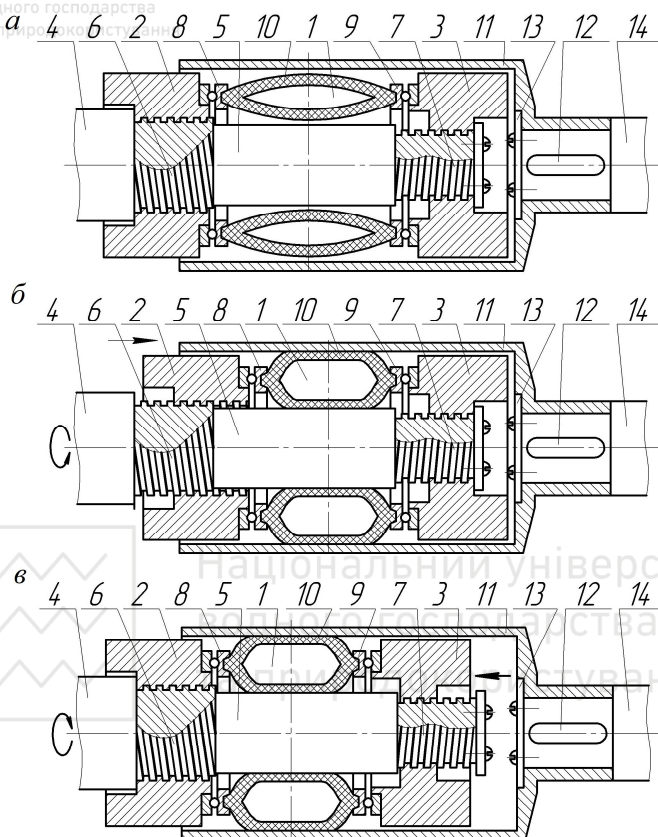


Рис. 3.20. Муфта інерційна пневматична: *а* – в не робочому стані;
б – в робочому стані при правосторонньому обертанні ведучого вала;
в – в робочому стані при правосторонньому обертанні ведучого вала

При зупинці ведучого вала 4, торова пневматична камера 10 під дією сил пружності та тиску повітря в камері розправляється і переміщає при цьому у вихідне положення рухомий інерційний диск 2, і виходить із контакту з гладкою циліндричною поверхнею 5 ведучого вала 4 та внутрішньою поверхнею веденої півмуфти 11. Муфта роз'єднує кінці валів механічних приводів.

При правосторонньому обертанні ведучого вала 4 торову пневматичну камеру 10 стискає і деформує до її контакту з гладкою циліндричною поверхнею 5 ведучого вала 4 та внутрішньою



поверхнею веденої півмуфти 11 рухомий інерційний диск 3 під дією сили, що виникає від інертності її маси, пересилюючи пружність торової пневматичної камери 10 і тиск повітря в самій камері, зміщується на нарізі 7 в сторону веденого вала 14 і деформує торову пневматичну камеру 10, яка в момент деформації внутрішньою поверхнею щільно облягає гладку циліндричну поверхню 5 ведучого вала 4, а зовнішньою поверхнею притискається до внутрішньої поверхні веденої півмуфти 11, виконаної у вигляді циліндричної втулки-стакана, що приводить до зчеплення півмуфт 1 і 11, ведучий 4 та ведений 14 вали починають обертатись з однаковою кутовою швидкістю. При зупинці ведучого вала 4, торова пневматична камера 10 під дією сил пружності та тиску повітря в ній розправляється і переміщає при цьому у вихідне положення рухомий інерційний диск 3, виходить із контакту з гладкою циліндричною поверхнею 5 ведучого вала 4 та внутрішньою поверхнею веденої півмуфти 11. Муфта роз'єднується та не передає обертового моменту.

Створенням початкового відповідного тиску в самій торовій пневматичній камері 10 регулюється величина обертового моменту, який передається з ведучого вала 4 на ведений вал 14, так як при однаковій масі рухомих інерційних дисків 2 і 3 та змінній жорсткості пневматичної камери 10 буде змінюватись щільність облягання пневматичною камерою 10 поверхонь ведучого вала 4 і веденої півмуфти 11, а відповідно і сили притискання цих поверхонь. Муфта інерційно-пневматична реверсивна забезпечує передачу обертових моментів при реверсному обертанні ведучого вала.

3.4. Інерційно-фрикційні муфти зчеплення

Муфта зчеплення інерційно-фрикційна дискова [82] (рис. 3.21) складається з лівого 1 і правого 2 ведучих натискних дисків, з'єднаних з циліндричними поверхнями 3 та 4 відповідно лівого 5 та правого 6 корпусів співвісно закріплених на маховику 7 за допомогою несамогальмівних нарізей, правої 8 та лівої 9, витки яких направлені в протилежну сторону обертання ведучого вала 10 з закріпленням на ньому маховиком 7 та веденого диска 11, встановленого на веденому валу 12 за допомогою шліцьового з'єднання 13 і підпружиненого рівносильними тарілчастими



пружинами 14 і 15 з обох сторін. Ведений диск 11 підпружинений на веденому валу 12 рівносільными пружинами 16 і 17 з обох сторін, що дозволяє при вмиканні муфти компенсувати нерівномірність спрацювання фрикційних накладок 18 і 19 на веденому диску 11.

Муфта закрита кожухом 20, що закріплений на корпусі 21. Вона працює так. До початку обертання ведучого вала муфта зчеплення інерційно-фрикційна дискова знаходиться в початковому стані. При обертанні ведучого вала з частотою обертів холостого ходу сили пружності тарілчастих пружин утримують відповідно лівий і правий натискні диски в початковому положенні та унеможливають їх переміщення в сторону веденого диска. При збільшенні обертів вала лівий і правий натискні диски під дією сил інерції їх мас, які стають більшими сил пружності тарілчастих пружин за допомогою несамогальмівних нарізей правої і лівої на циліндричних поверхнях корпусів зміщуються в сторону веденого диска до контакту з фрикційними накладками. Між натискними дисками та фрикційними накладками веденого диска виникають сили тертя, які приводять в рух ведений диск, а через нього та шліцьове з'єднання – ведений вал. Збільшенням обертів ведучого вала досягають збільшення сил інерції мас лівого і правого натискних дисків, а відповідно збільшення сили тертя між натискними дисками та фрикційними накладками веденого диска, що і забезпечує передачу максимального обертального моменту з ведучого вала на ведений вал.

При зменшенні обертів ведучого вала до обертів холостого ходу, або при його зупинці, натискні диски, під дією сил пружності тарілчастих пружин за допомогою правої і лівої нарізей, повертаються в початкове положення і муфта роз'єднується, тобто обертальний момент не передається від ведучого вала на ведений вал.

Завдяки підпружиненню веденого диска рівносільными пружинами з обох сторін, з'єданого з веденим валом шліцьовим з'єднанням, забезпечується компенсація спрацювання фрикційних накладок, що в свою чергу підвищує надійність муфти та її довговічність.

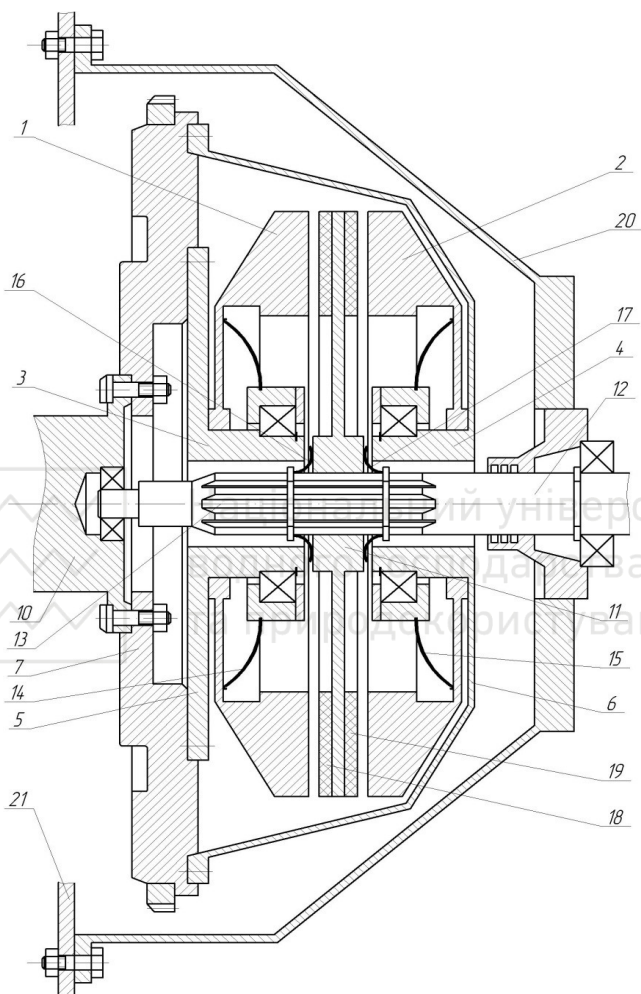


Рис. 3.21. Муфта зчеплення інерційно-фрикційна дискова

На рис. 3.22 окремо приведені частини інерційно-фрикційної муфти, що пояснює способи розміщення натискних дисків на циліндричній поверхні корпусів.

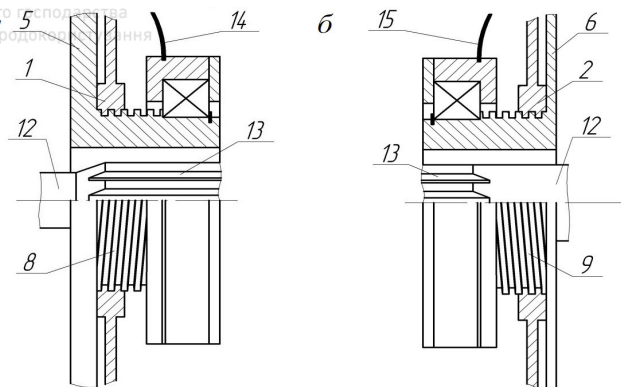


Рис. 3.22. Розміщення натискних дисків на циліндричній поверхні корпусів: *а* – лівого; *б* – правого

За аналогічною конструкцією і принципом роботи, з метою підвищення несучої здатності муфти за рахунок можливості передачі значних обертальних моментів, були розроблені конструкції муфт з фігурними контактними поверхнями ведучих натискних і веденого дисків [83-85], (рис. 3.23-3.26).

Принцип роботи цих муфт подібний до принципу роботи попередньої муфти. Відмінністю є те, що за рахунок фігурних контактних поверхонь ведучих натискних і веденого дисків такі муфти можуть передавати істотно більші обертальні моменти, ніж муфта зчеплення інерційно-фрикційна дискова.

В таких конструкціях муфт зчеплення нормально розімкнутого типу обертальний момент, що передається від ведучого вала на трансмісію автомобіля не залежить від величини спрацювання фрикційних накладок веденого диска і не змінюється від числа вимикань муфти, а визначається тільки зусиллям притискання ведучого та веденого дисків. Тому для збільшення сили притискання ведучого та веденого дисків були розроблені конструкції муфт зчеплення з фігурними профілями площин притискання, в яких за рахунок клинового ефекту муфта зчеплення може передавати істотно більші навантаження ніж традиційна дискова муфта. Крім того до переваг муфт зчеплення з фігурними профілями площин притискання можна зарахувати і добре розчіплювання напівмуфт, а личкування робочої поверхні веденого



диска матеріалами, що мають підвищений коефіцієнт тертя сприяє збільшенню сили тертя між робочими поверхнями дисків.

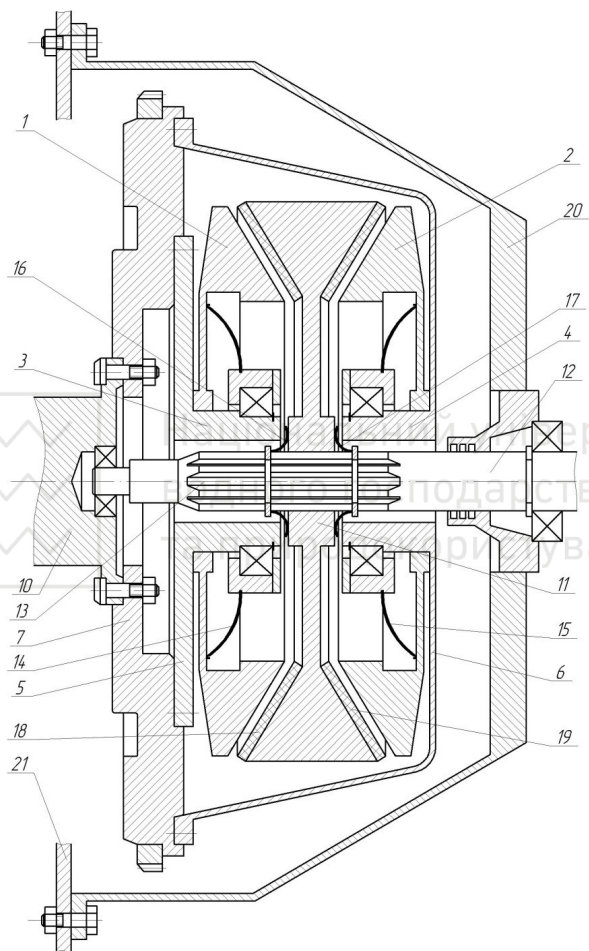


Рис. 3.23. Муфта зчеплення інерційно-фрикційна з фігурними контактними поверхнями ведучих натискних і веденого дисків конусні поверхні виконані до середини

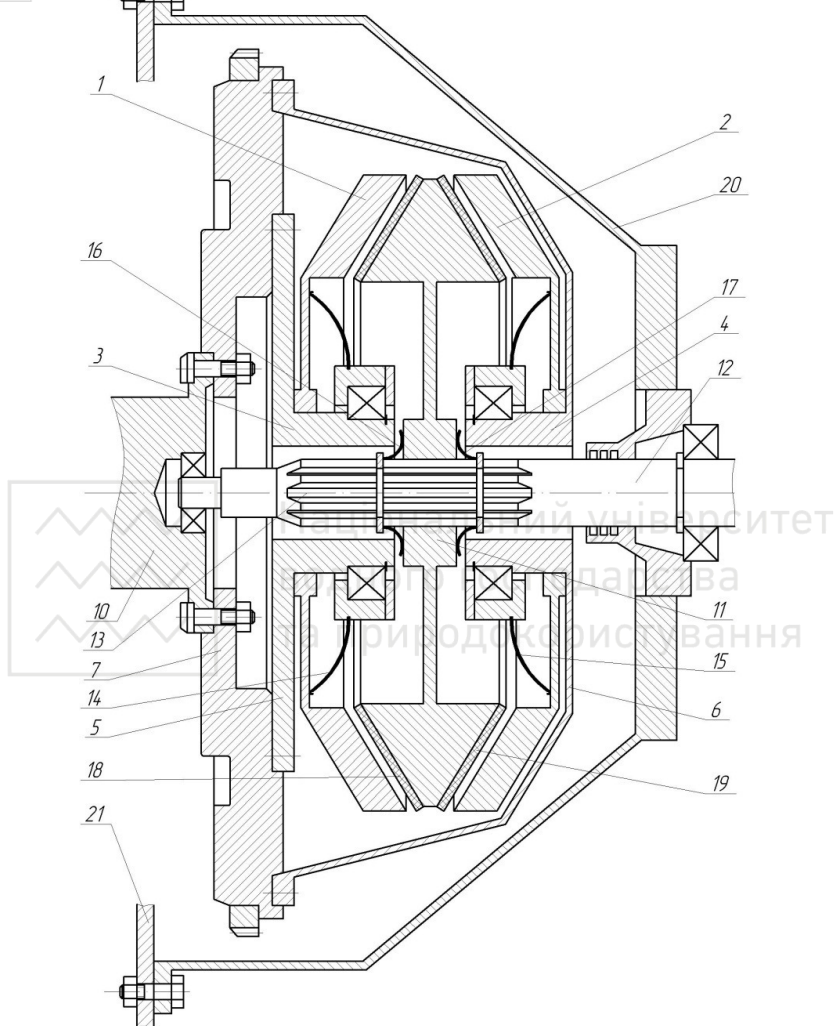


Рис. 3.24. Муфта зчеплення інерційно-фрикційна з фігурними контактними поверхнями ведучих натискних і веденого дисків конусні поверхні виконані від середини

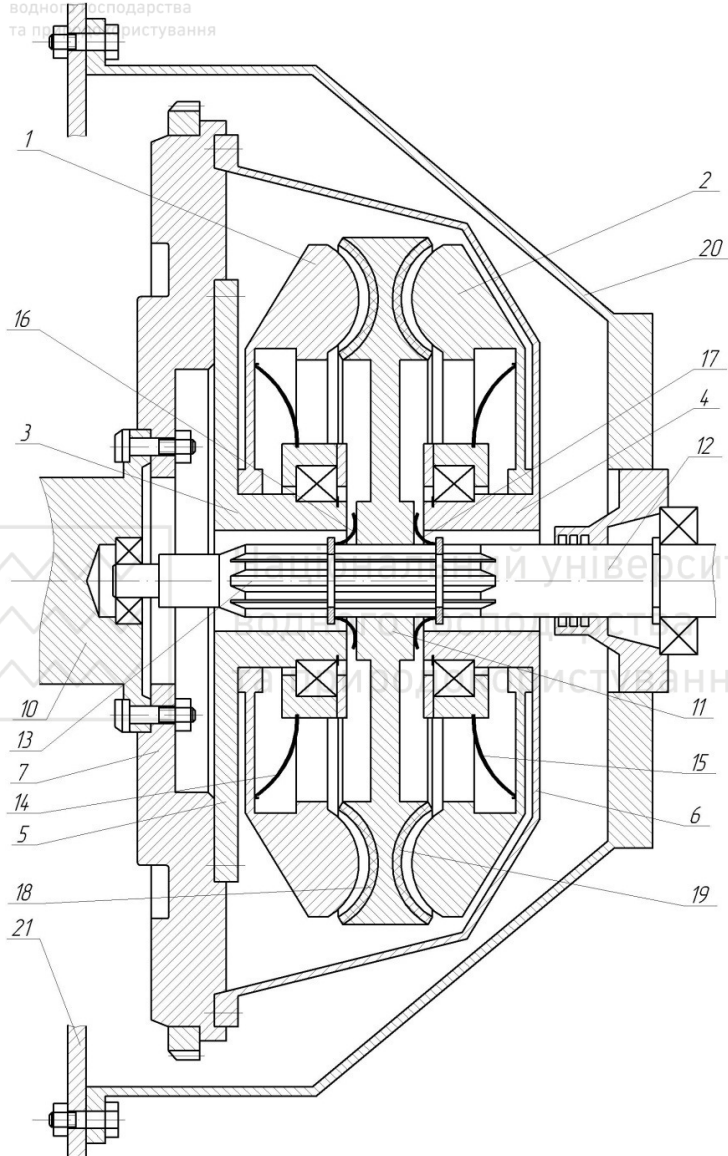


Рис. 3.25. Муфта зчеплення інерційно-фрикційна з фігурними контактними поверхнями ведучих натискних і веденого дисків торові поверхні

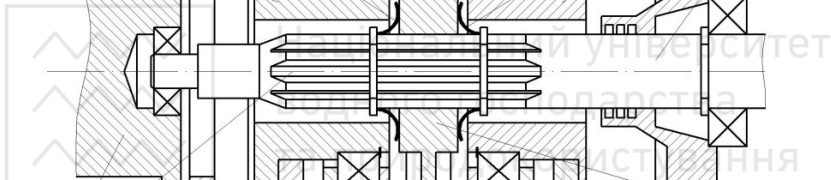


Рис. 3.26. Муфта зчеплення інерційно-фрикційна з фігурними контактними поверхнями ведучих натискних і веденого дисків клинчасті поверхні



Муфта зчеплення інерційно-фрикційна [88] (рис. 3.27) за конструкцією і принципом роботи подібна до попередніх та відрізняється від них тим, що для повернення ведучих натискних дисків в початкове положення при зменшенні обертів ведучого вала до обертів холостого ходу, або його зупинці використовується пакет фігурних пружин кручення, який забезпечує більш плавне з'єднання контактних поверхонь ведучих натискних і веденого дисків і зменшення габаритів самої муфти.

Ця муфта складається з лівого 1 і правого 2 ведучих натискних дисків, з'єднаних між собою по зовнішніх діаметрах через підшипники кочення 3 і 4 та охоплюючі кільця 5 і 6 пакетом рівномірно розміщених і закріплених на охоплюючих кільцях 5 і 6 фігурних пружин кручення 7, а по внутрішніх діаметрах зв'язані з циліндричними поверхнями 8 та 9 ведучого вала 10 та корпусу 11 за допомогою шліцевих з'єднань 12 і 13, шліци яких виконані під кутом до поздовжньої осі ведучого вала 10 в напрямку протилежному напрямку обертання ведучого вала 10 з закріпленням на ньому маховиком 14 та веденого диска 15 з фрикційними накладками 16 і 17, встановленого на веденому валу 18 за допомогою шліцевого з'єднання 19. Муфта закрита кожухом 20 закріпленим, наприклад, на блокові 21.

Виконання фігурних пружин кручення 7 у формі циліндричних пружин, діаметр яких зменшується від середини в осьовому напрямку назовні, забезпечує їх плавне закручування та розкручування, а відповідно плавне вмикання та вимикання муфти.

Муфта зчеплення інерційно-фрикційна працює так. До початку обертання ведучого валу муфта зчеплення інерційно-фрикційна дискова знаходиться в роз'єднано стані. При обертанні ведучого вала з частотою обертів холостого ходу, сили пружності пакета фігурних пружин кручення утримують відповідно лівий і правий натискні диски в початковому положенні та унеможливають їх переміщення в сторону веденого диска, розміщеного на веденому валу і з'єданого з ним шліцами.

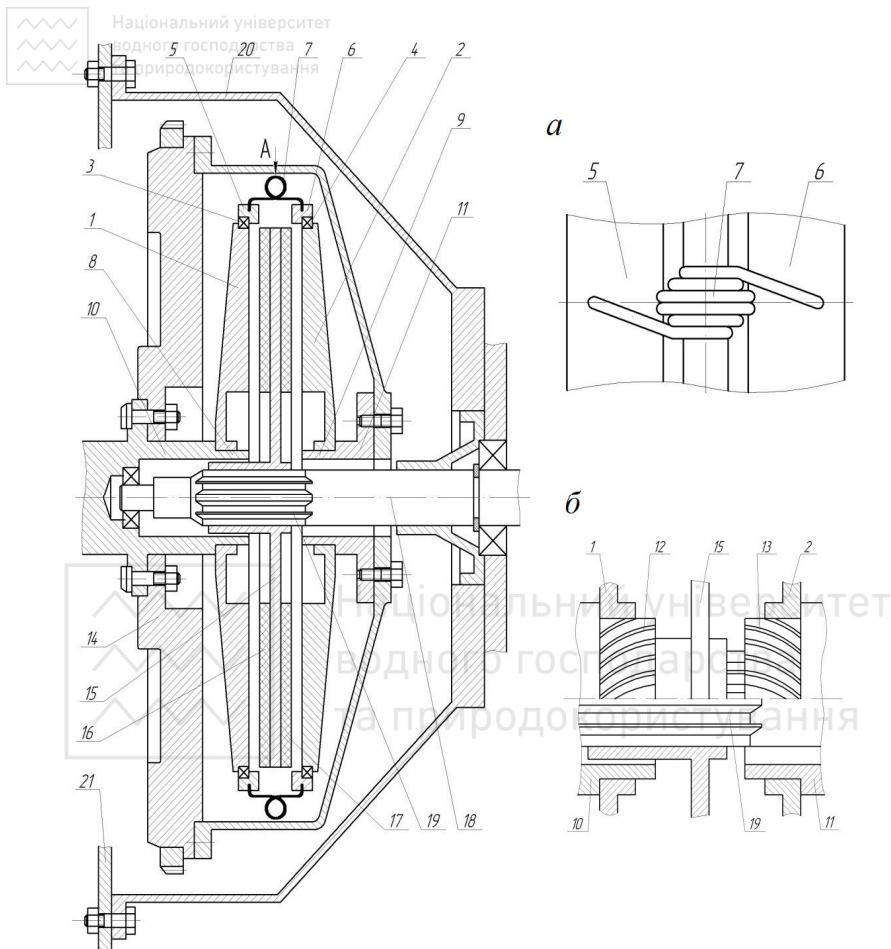


Рис. 3.27. Муфта зчеплення інерційно-фрикційна: *а* – вигляд фігурної пружини кручення; *б* – розміщення натискних дисків на циліндричних поверхнях ведучого вала

При зменшенні обертів ведучого вала до обертів холостого ходу, або при його зупинці, натискні диски, під дією сил пружності пакету фігурних пружин кручення за допомогою косих шліцевих з'єднань, повертаються в початкове положення і муфта роз'єднується, тобто обертальний момент не передається від ведучого вала на ведений вал .



Завдяки наявності на зовнішніх діаметрах натискних дисків підшипників кочення компенсується можливе відставання в контакті натискних дисків з фрикційними накладками веденого диска.

Муфта зчеплення інерційно-фрикційна [86] (рис. 3.28) за конструкцією і принципом роботи подібна до попередніх та відрізняється тим, що в конструкції муфти для фіксації ведучих натискних дисків, як в робочому, так і в розімкненому положеннях, передбачені кулькові фіксатори, а для обмеження ходу і зменшення удару боковими поверхнями ведучих натискних дисків при роз'єднанні муфти на гладких циліндричних поверхнях ведучого вала встановлені демпферні кільця.

Така муфта складається з лівого 1 і правого 2 ведучих натискних дисків, з'єднаних з циліндричними поверхнями 3 та 4, відповідно, ведучого вала 5 та корпуса 6, співвісно закріпленого на маховику 7 за допомогою косих шліцьових з'єднань 8 та 9, кут нахилу шліців яких направлений в протилежну сторону обертання ведучого вала 5 з закріпленим на ньому маховиком 7 та веденого диска 10 з фрикційними накладками 11 і 12, встановленого на веденому валу 13 за допомогою шліцьового з'єднання 14. Крім того, на гладких циліндричних поверхнях ведучого вала 5 та корпуса 6 по їх зовнішніх діаметрах виконані, відповідно канавки 15 і 16 та 17 і 18 для фіксації за допомогою кулькових фіксаторів 19 і 20 ведучих натискних дисків 1 та 2 в робочому і холостому режимах відповідно. Для обмеження ходу і зменшенні удару боковими поверхнями ведучих натискних дисків 1 і 2 при роз'єднанні муфти на гладких циліндричних поверхнях ведучого вала 5 і корпуса 6 встановлені демпферні кільця 21 і 22. Муфта закрита кожухом 23 закріпленим, наприклад, на блокові 24.

Муфта зчеплення інерційно-фрикційна працює так. До початку обертання ведучого вала муфта зчеплення інерційно-фрикційна дискова знаходиться в роз'єднаному стані. При обертанні ведучого вала з частотою обертів холостого ходу сили пружності кулькових фіксаторів, які контактують з канавками ведучого вала та корпуса утримують відповідно лівий і правий натискні диски в початковому положенні та унеможливають їх переміщення на ведучому валу і корпусі відповідно, в сторону веденого диска.

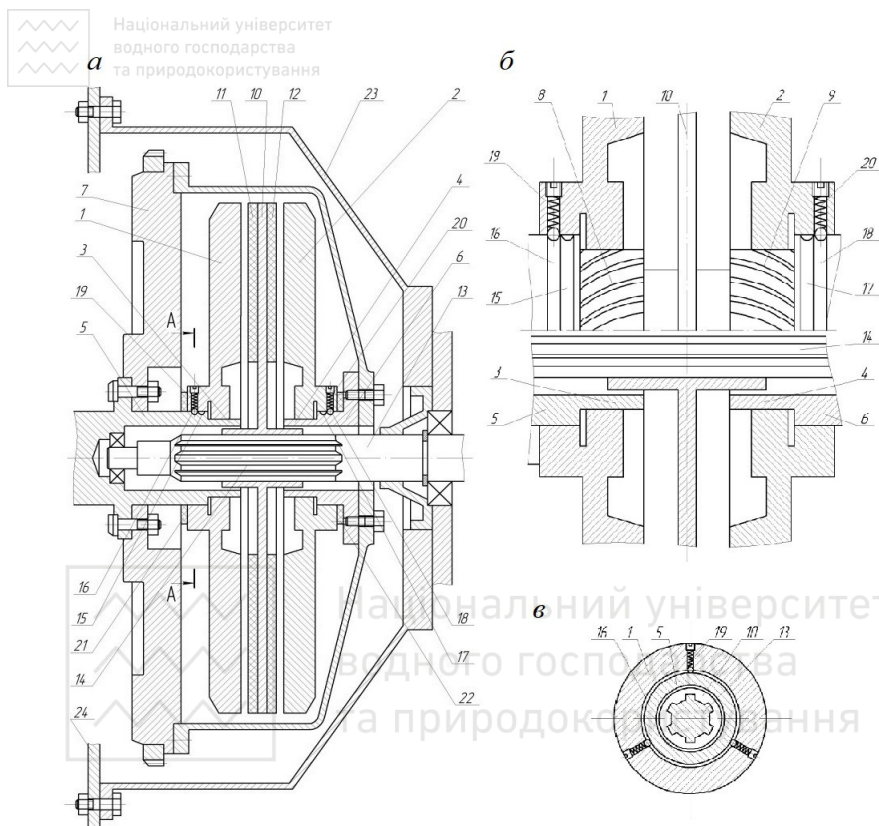


Рис. 3.28. Муфта зчеплення інерційно фрикційна:
а – загальний вигляд муфти; *б* – фіксатори для фіксації
 ведучих натискних дисків; *в* – розміщення натискних дисків на
 циліндричних поверхнях ведучого вала

При збільшенні обертів вала лівий і правий натискні диски під дією сил інерції їх мас, які стають більшими сил пружності кулькових фіксаторі за допомогою косих шліцьових з'єднань, шліці яких направлені в сторону протилежну напрямку обертання ведучого вала, на циліндричних поверхнях ведучого вала і корпуса зміщуються в сторону веденого диска до контакту з фрикційними накладками веденого диска, при цьому, ведучі диски фіксуються в такому положенні фіксаторами в канавках ведучого вала і корпуса, відповідно. Між натискними дисками та фрикційними накладками веденого диска виникають сили тертя, які приводять в рух ведений диск, а через нього та шліцьове з'єднання ведений вал.



Збільшенням обертів ведучого вала досягають збільшення сили інерції мас натискних дисків, а відповідно і сил тертя між натискними дисками та фрикційними накладками веденого диска, що і забезпечує передачу максимального обертального моменту з ведучого вала на ведений.

Для роз'єднання муфти частота обертання ведучого вала збільшується, а потім зменшується за малий проміжок часу. Відповідно, при цьому ведучі натискні диски отримують певне прискорення, а при зменшенні обертів ведучого вала, продовжують обертатись під дією сил інерції своїх мас, які стають більшими сил пружності кулькових фіксаторів, і за допомогою косих шліцьових з'єднань зміщуються в сторону від веденого диска, упираючись боковими поверхнями в демпферні кільця, які обмежують хід ведучих дисків та зменшують їх удари в маховик та корпус і фіксуються кульковими фіксаторами в канавках ведучого вала та корпуса – муфта роз'єднана.

Виконання канавок на ведучому валу та корпусі радіусом більшим ніж радіус кульок фіксаторів забезпечує гарантований контакт натискних ведучих дисків з фрикційними накладками веденого диска. Однак кулькові фіксатори не забезпечують гарантований контакт натискних ведучих дисків з фрикційними накладками веденого диска при зношуванні фрикційних накладок. Тому для забезпечення постійного контакту фрикційних накладок веденого диска і натискних ведучих дисків, а також для компенсації спрацювання фрикційних накладок розроблені муфти зчеплення інерційно-фрикційні одно-дискові [10; 11].

Муфта зчеплення інерційно-фрикційна однодискова [87] (рис. 3.29) складається з ведучого натискного диска 1 з упорним підшипником кочення 2, встановленого на циліндричній поверхні 3 корпуса 4 співвісно закріпленого ведучому валу 5 на маховику 6 за допомогою шліцьового з'єднання 7, зв'язаного через підпружинені силовими пружинами розтягування 8 з важелями 9, шарнірно закріплені на кронштейні 10, який встановлений на циліндричній поверхні 3 корпуса 4 з можливістю повороту навколо нього, одне плече яких контактує з ведучим натискним диском 1, а інше через тягу 11 з'єднане з інерційним диском 12, який зв'язаний з циліндричною поверхнею 3 корпуса 4 через косе шліцьове з'єднання 13, шліці якого виконані під кутом до осі ведучого вала 5 в напрямку протилежному напрямку його обертання, та веденого диска 14 з фрикційними накладками 15 і 16, з'єданого через шліцьове з'єднання 17 з веденим валом 18. Силкові пружини

розтягування 8 закріплені на осі 19 важеля 9 та осі 20 кронштейна 10 так, що їх поздовжні осі при не ввімкненій муфті знаходяться під кутом до перпендикулярної до осі вала радіальної осі кронштейна по праву сторону, а при ввімкненій – по ліву, що забезпечує фіксацію інерційного диска 12 і ведучого натискного диска 1 відповідно в холостому або робочому положеннях. Муфта закрита кожухом 21.

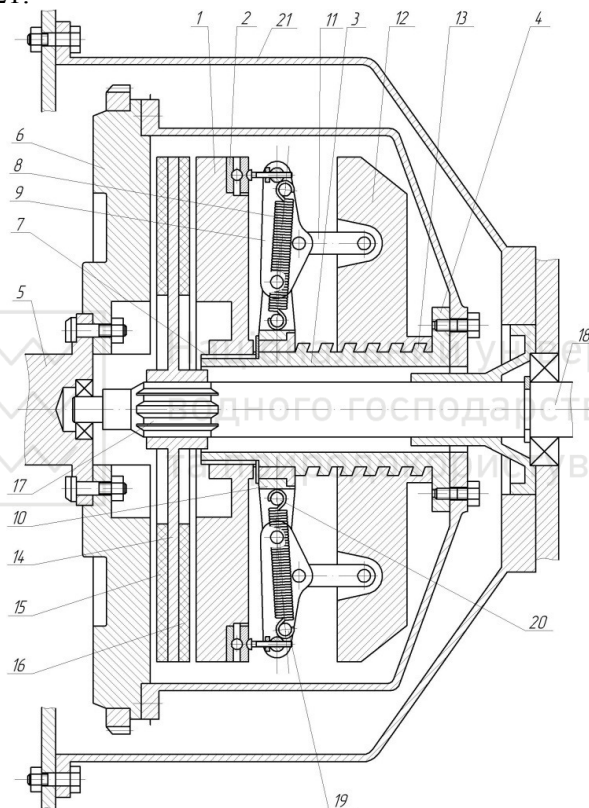


Рис. 3.29. Муфта зчеплення інерційно-фрикційна однодискова

Муфта зчеплення інерційно-фрикційна однодискова працює так. До початку обертання ведучого вала муфта зчеплення інерційно-фрикційна однодискова знаходиться в розімкненому стані. При обертанні ведучого вала з частотою обертів холостого ходу сили пружності силових пружин розтягування через важелі утримують інерційний диск, а відповідно і ведучий натискний диск



у початковому стані. При збільшенні частоти обертів ведучого вала інерційний диск під дією сили інерції своєї маси, яка стає більшою сил пружності силових пружин розтягування, за допомогою косого шліцевого з'єднання на циліндричній поверхні корпуса зміщується в сторону веденого диска. При цьому, одночасно з інерційним диском, в сторону веденого диска на шліцах корпуса зміщується і ведучий натискний диск, на який через упорний підшипник кочення і важелі, закріплені на кронштейні, який повертається навколо циліндричної поверхні корпуса на кут повороту інерційного диска на косому шліцевому з'єднанні, діє сила інерції маси інерційного диска. В момент руху інерційного диска та ведучого натискного диска силові пружини розтягування переходять перпендикулярну до осі вала радіальну вісь кронштейна і ведучий натискний диск входить у контакт з правою фрикційною накладкою веденого диска, а при подальшому переміщенні ведучого натискного диска, ліва фрикційна накладка – з боковою поверхнею маховика, тобто між ведучим натискним диском, маховиком та фрикційними накладками веденого диска виникають сили тертя, які приводять в обертальний рух ведений диск, а через нього та шліцеве з'єднання – ведений вал. Силові пружини розтягування фіксують ведучий натискний диск в робочому положенні та забезпечують передачу обертального моменту від ведучого вала до веденого вала. В процесі роботи муфти, за рахунок сил пружності силових пружин розтягування, компенсується знос фрикційних накладок веденого диска та забезпечується передача крутного моменту з ведучого вала до веденого вала при частоті обертання в межах від холостих до робочих обертів.

Для роз'єднання муфти ведучому валу, на дуже короткий період часу, надається частота обертів більша частоти обертів з якими він обертається в даний момент, а далі різко зменшується. При різкому зменшенні обертів ведучого вала інерційний диск під дією сили інерції своєї маси, пересилюючи сили пружності силових пружин розтягування, зміщується в сторону від веденого диска і через важелі фіксується пружинами розтягування в неробочому положенні. Завдяки цьому між фрикційними накладками веденого диска та поверхнями маховика і ведучого натискного диска виникають зазори – сили тертя між ними зникають. Муфта роз'єднується.



Муфта зчеплення автоматична інерційно-фрикційна [89] (рис. 3.30) за конструкцією та принципом роботи подібна до попередньої, однак за рахунок специфічного виконання важелів і розміщення тяг відзначається покращеними технічними характеристиками та експлуатаційними якостями.

Вона складається з ведучого натискного диска 1 з упорним підшипником кочення 2, встановленого на циліндричній поверхні 3 корпуса 4, співвісно закріпленого ведучому валу 5 на маховику 6 за допомогою шліцьового з'єднання 7, та веденого диска 8 з фрикційними накладками 9 і 10, розміщеного між ведучим натискним диском 1 і маховиком 6 та з'єднаного через шліцьове з'єднання 11 з веденим валом 12. На косому шліцьовому з'єднанні 13, шліці якого виконані під кутом до поздовжньої осі ведучого вала 5 в напрямку протилежному напрямку його обертання, циліндричній поверхні 3 корпуса 4 розміщено інерційний диск 14, який через тяги 15 та осі 16 шарнірно зв'язаний з важелями 17, закріпленими через осі 18 на рухомому навколо поздовжньої осі корпуса 4 на гладкій його поверхні 19 кронштейні 20. Крім того, важелі 17 фіксуються на кронштейні 20 силовими пружинами розтягу 21, закріпленими на осях 16 і 22, і контактують меншим плечем через регулювальні гвинти 23 і підшипник кочення 2 з ведучим натискним диском 1. Розміщення силових пружин розтягу 21 під кутом до радіальної вертикальної осі кронштейна 20 дозволяє фіксувати інерційний диск 14, як в холостому стані, коли він знаходиться в крайньому правому положенні, так і в робочому стані, коли він знаходиться в крайньому лівому положенні. Це забезпечується тим, що осі 22 кріплення силових пружин розтягу на кронштейні 20 зміщені в радіальному напрямку відносно осей 18 кріплення важелів 17. Муфта закрита кожухом 24.

Муфта зчеплення автоматична інерційно-фрикційна працює так. До початку обертання ведучого вала муфта зчеплення автоматична інерційно-фрикційна знаходиться в розімкнутому стані – інерційний диск знаходиться в крайньому правому положенні. При обертанні ведучого вала з частотою обертів холостого ходу, сили пружності силових пружин розтягування через тяги утримують інерційний диск, а відповідно і ведучий натискний диск у початковому стані, тобто в крайньому правому положенні.

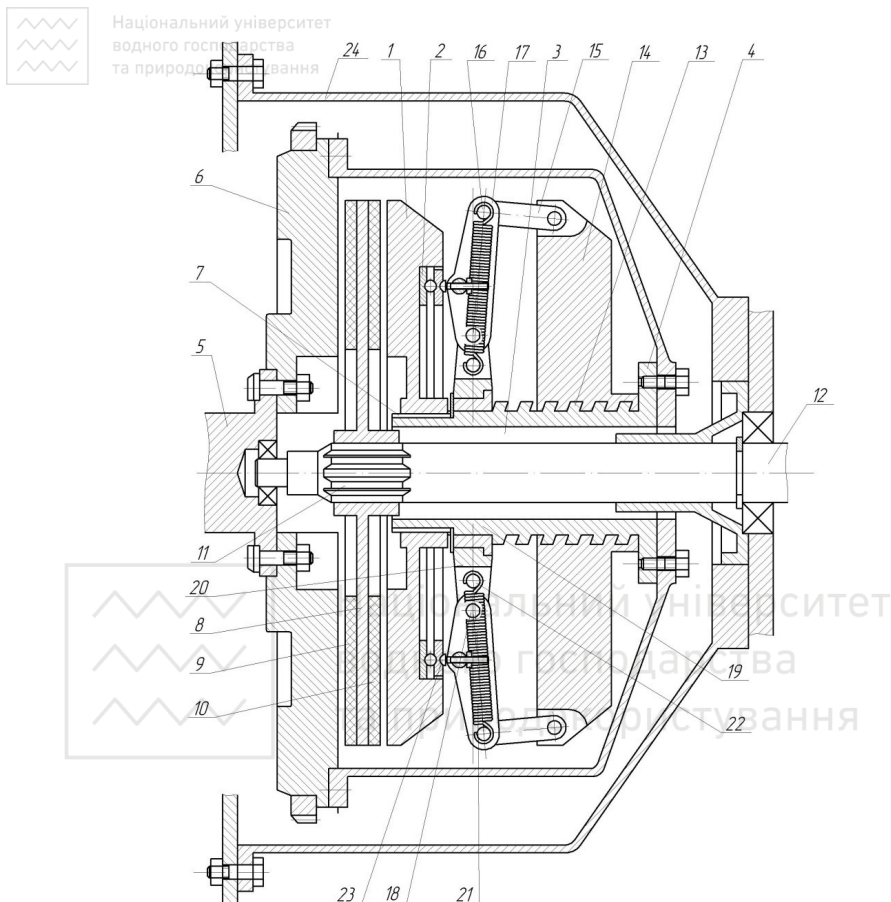


Рис. 3.30. Муфта зчеплення автоматична інерційно-фрикційна

При збільшенні обертів ведучого вала інерційний диск під дією сили інерції його маси, яка стає більшою сил пружності силових пружин розтягування, за допомогою косого шліцевого з'єднання на циліндричній поверхні корпуса зміщується в сторону веденого диска. При цьому одночасно з інерційним диском в сторону веденого диска на шліцах корпуса зміщується і ведучий натискний диск, на який через упорний підшипник кочення, регулювальний гвинт і важіль, закріплений на кронштейні, який повертається навколо циліндричної поверхні корпуса навколо його осі на кут повороту інерційного диска, на косому шліцевому



з'єднанні, діє сила інертності маси інерційного диска. Під час руху інерційного диска та ведучого натискного диска силові пружини розтягування переходять радіальну вертикальну вісь кронштейна, перпендикулярну до осі веденого вала, і ведучий натискний диск входить в контакт з правою фрикційною накладкою, а при подальшому переміщенні ведучого натискного диска ліва фрикційна накладка входить в контакт з боковою поверхнею маховика, тобто між ведучим натискним диском, маховиком та фрикційними накладками веденого диска виникають сили тертя, які приводять в рух ведений диск, а через нього та шліцьове з'єднання – ведений вал. При цьому, силові пружини розтягу фіксують ведучий натискний диск в робочому стані, тобто в крайньому лівому положенні і забезпечують передачу обертального моменту від ведучого вала до веденого вала при робочих обертах ведучого вала.

Завдяки тому, що більше плече важеля, яке з'єднане з тягою віссю, рухається по дузі, його швидкість при сталій швидкості інерційного диска змінюється від нульової до максимальної з подальшим зменшенням до мінімальної і зростанням до максимальної (рис. 3.31, а).

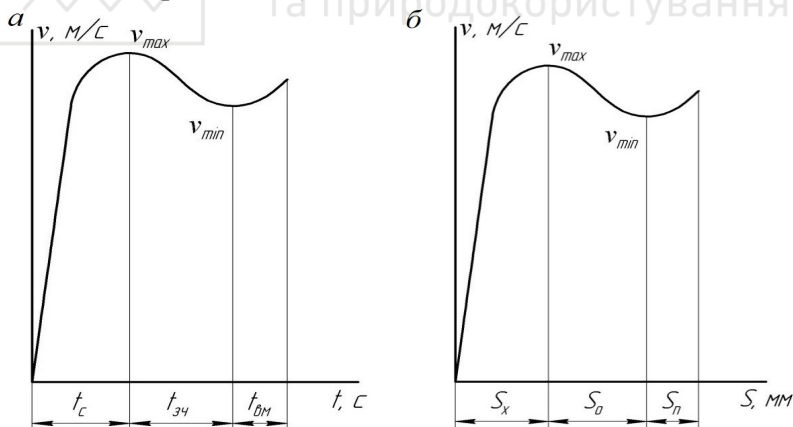


Рис. 3.31. Графічні залежності: а – швидкості від часу вмикання муфти: t_c – час холостого ходу; $t_{зч}$ – час зчеплення муфти; $t_{вм}$ – час вмикання муфти; б – швидкості руху натискного диска від його ходу; s_x – холостий хід натискного диска; s_p – робочий хід натискного диска; s_ϕ – хід фіксування муфти в робочому стані



Тобто на початку переміщення інерційного диска, а відповідно і ведучого натискного диска вліво вибираються зазори, як у механізмі автоматичного керування, так і між боковими поверхнями натискного ведучого диска, маховика та фрикційними накладками веденого диска. Холостий хід відбувається упродовж коли півмуфти не зчеплені. Після проходження холостого ходу s_x починається процес зчеплення півмуфт (рис. 3.31, б), при цьому швидкість від максимальної зменшується до мінімальної, чим забезпечується плавність вмикання муфти, причому час вмикання муфти $t_{вм}$ менший часу зчеплення $t_{зч}$, що зменшує вплив негативних факторів, таких як нагрівання поверхонь тертя ведучого натискного диска, маховика і фрикційних накладок.

Тобто в процесі вмикання муфти відбувається три етапи: холостий хід, робочий хід і хід фіксування, в процесі яких час неусталеного режиму роботи муфти зменшується, чим забезпечується м'яке та плавне вмикання муфти при одночасному зменшенні ефекту впливу таких негативних явищ, як нагрівання поверхонь тертя муфти.

В процесі роботи муфти сили пружності силових пружин розтягу компенсують стирання фрикційних накладок та забезпечують передачу максимального обертового моменту від ведучого вала до веденого вала, як при його робочій частоті обертання, так і при обертах холостого ходу. Крім того, спрацювання фрикційних накладок можна компенсувати регульовальними гвинтами.

Для роз'єднання півмуфт, ведучому валу на дуже короткий проміжок часу надаються оберти, більші обертів ведучого вала, з якими він обертається в даний момент. При раптовому зменшенні обертів ведучого вала інерційний диск, під дією сили інерції своєї маси, продовжує обертатись з заданою частотою і відповідно при зменшенні обертів ведучого вала, пересилуючи сили пружності силових пружин розтягування, зміщується від веденого диска і фіксується силовими пружинами розтягування через важіль і тягу в неробочому стані, тобто в крайньому правому положенні. Завдяки цьому між фрикційними накладками веденого диска та боковими поверхнями маховика і ведучого натискного диска виникають зазори, і сили тертя між ними зникають. Півмуфти роз'єднуються – обертовий момент від ведучого вала не передається до веденого



вала. Для наступного зчеплення півмуфт процес автоматичного вмикання повторюється.

Запропонована муфта зчеплення автоматична інерційно-фрикційна забезпечує автоматичне вмикання і вимикання муфти без механічного механізму керування муфтою та передачу обертального моменту від ведучого вала до веденого як у робочому так і на холостому ходу ведучого вала шляхом використання інертності мас муфти, що покращує як експлуатаційні якості так і технологічні характеристики муфти.

Для більшої наочності приведених муфт зчеплення виконана побудова моделей деяких з них, а саме дискової та клинчастої показані на рис. 3.32-3.35 в системі SolidWorks. Використання комп'ютерного моделювання при проектуванні муфт на початковій стадії проектування дозволяє:

- отримати візуальне уявлення про муфту та її складові, оглянути її з будь-якої точки;
- легко редагувати трьохмірну модель муфти, тобто вносити необхідні зміни;
- отримати велике число можливих варіантів проектних рішень для муфти і на основі глибокого аналізу вибрати найкращий.

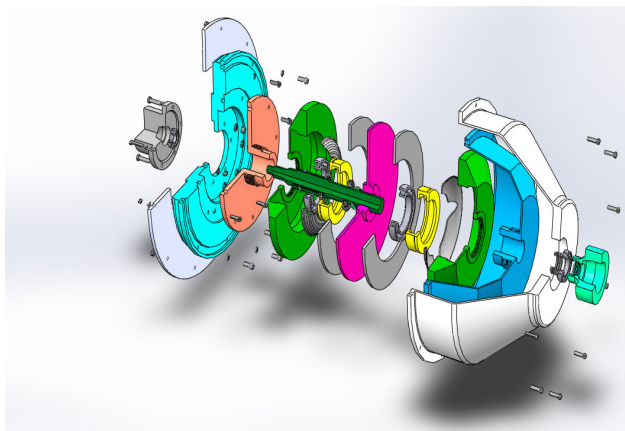


Рис. 3.32. Модель муфти зчеплення інерційно-фрикційної дискової у розібраному вигляді

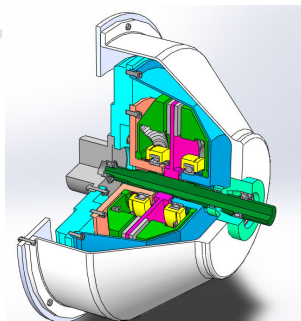


Рис. 3.33. Модель муфти зчеплення інерційно-фрикційної дискової у зібраному вигляді

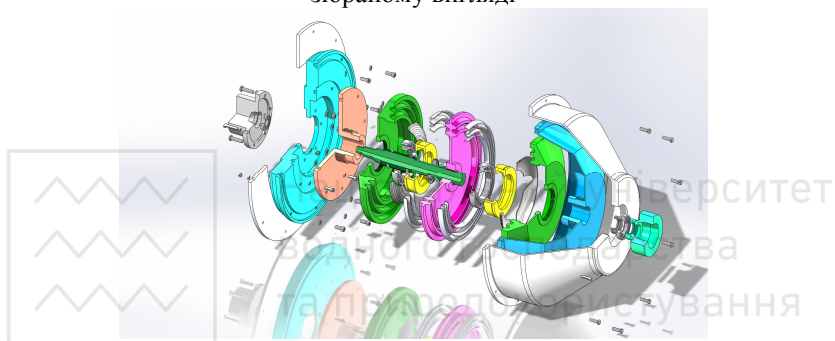


Рис. 3.34. Модель муфти зчеплення інерційно-фрикційної клинчастої у розібраному вигляді

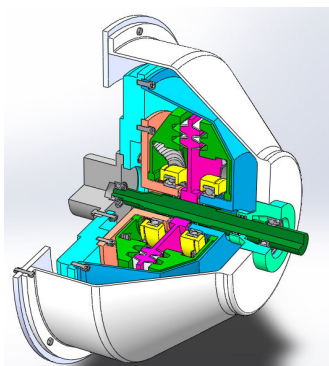


Рис. 3.35. Модель муфти зчеплення інерційно-фрикційної клинчастої у зібраному вигляді



3.5. Пружні інерційно-фрикційні муфти

Муфта пружно-інерційна запобіжна [58] (рис. 3.36) складається з ведучої півмуфти 1 з закріпленою на її зовнішній поверхні 2 при допомозі фланця 3 і різбових елементів 4 пружною оболонкою 5 з пазами 6 і рухомою контактною поверхнею 7, встановленої на валу 8 при допомозі несамогальмівної нарізі 9, виконаної правою при його обертанні проти годинникової стрілки або лівою при його обертанні за годинниковою стрілкою, і підпружиненої в сторону ведучого вала 8 пружиною 10, сила стискування якої регулюється гайками 11, веденої півмуфти 12, виконаною циліндричною з контактною поверхнею 13, встановленої на веденому валу 14 при допомозі несамогальмівної нарізі 15, виконаної лівою при його обертанні проти годинникової стрілки або правою при його обертанні за годинниковою стрілкою і підпружиненої в сторону ведучого вала 8 пружиною 16, сила стискування якої регулюється гайками 17. У ведучій півмуфті 1 зі сторони кріплення фланця 3 виконані радіальні пази 18, у яких розміщені вантажі 19. Для створення надійного початкового дебалансу і збільшення інертності ведучої півмуфти пазів 18 і, відповідно, вантажів 19 має бути три і більше.

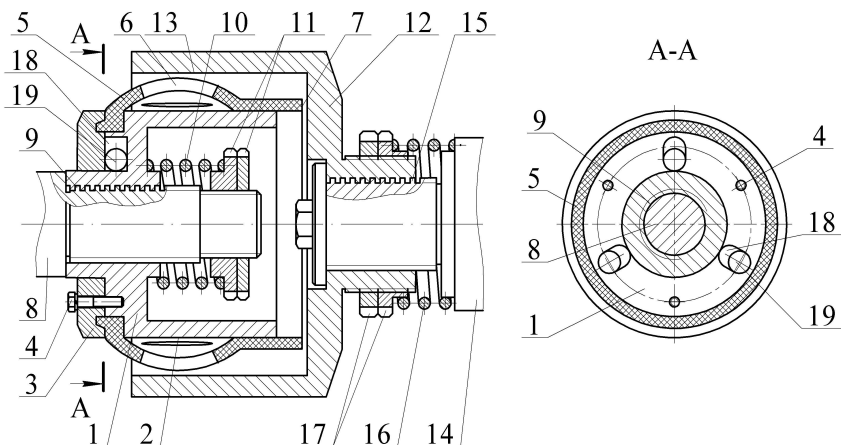


Рис. 3.36. Муфта пружно-інерційна запобіжна – положення її елементів до роботи



Муфта пружно-інерційна запобіжна працює так. До початку обертання ведучого вала півмуфта 1 знаходиться в стані спокою і вантажі 19 під дією сили тяжіння займають в пазах 18 крайні нижні положення. Завдяки виконанню в півмуфті 1 не менше трьох пазів 18 рівномірно розміщених по колу вантажі 19 займають крайнє нижнє положення в пазах 18, а це в свою чергу приводить до зміщення центра ваги півмуфти 1 нижче осі її обертання, що збільшує її інертність в початковий момент обертання ведучого вала 8.

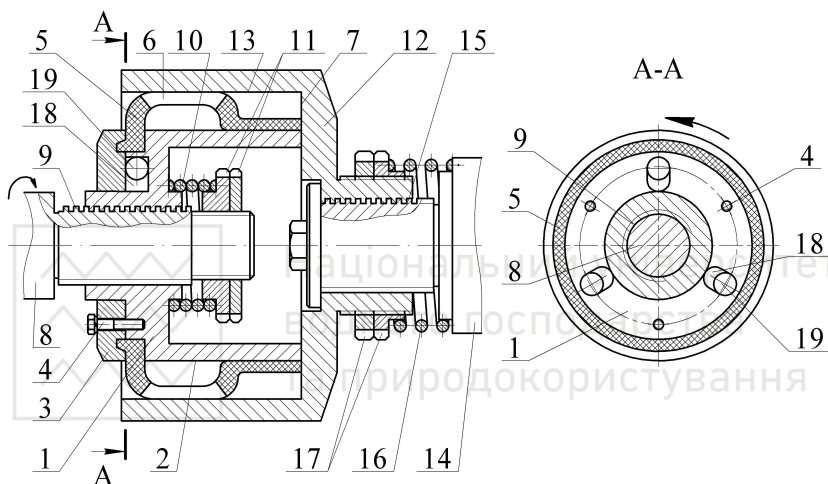


Рис. 3.37. Муфта пружно-інерційна запобіжна
під час роботи

Муфта пружно-інерційна запобіжна працює так (рис. 3.37). До початку обертання ведучого вала півмуфта 1 знаходиться в стані спокою і вантажі 19 під дією сили тяжіння займають в пазах 18 крайні нижні положення. Завдяки виконанню в півмуфті 1 не менше трьох пазів 18 рівномірно розміщених по колу вантажі 19 займають крайнє нижнє положення в пазах 18, а це в свою чергу приводить до зміщення центра ваги півмуфти 1 нижче осі її обертання, що збільшує її інертність в початковий момент обертання ведучого вала 8. При вмиканні двигуна, в початковий момент обертання ведучого вала 8 ведуча півмуфта 1 під дією сили, що виникає від інертності мас півмуфти зміщується по нарізі 9 вала 8 до контакту поверхнею 7 з торцевою поверхнею веденої півмуфти



12. Завдяки цьому момент сил опору, що діє з боку мас інертності ведучої півмуфти і ведених мас зростає і півмуфта 1, продовжуючи зміщення в сторону веденої півмуфти 12, забезпечує переміщення по своїй зовнішній поверхні рухомої поверхні 7 пружної оболонки 5, а відповідно стиснення самої оболонки. При стисненні оболонка 5, завдяки наявності на її поверхні поздовжніх пазів 6, вона збільшується в діаметрі і притискається до контактної поверхні 13 веденої півмуфти 12. При досягненні ведучою півмуфтою 1 крайнього правого положення відбувається повне зчеплення муфти та ведений і ведучий вали починають обертатись з однаковою кутовою швидкістю. При цьому вантажі 19 під дією відцентрової сили переміщуються в пазах 18 до зовнішнього діаметра півмуфти 1, центр ваги півмуфти зміщується до осі її обертання і дисбаланс півмуфти зникає.

В процесі роботи муфти, при збільшенні обертального моменту на веденому валу 14, пружина 16 стискається і ведена півмуфта 12 по нарізі 15 зміщується в сторону веденого вала, що відповідно приводить до переміщення рухомої поверхні 7 пружної оболонки 5 і розмикання муфти. Спрощення виготовлення муфти здійснюється за рахунок з'єднання півмуфт з валами за допомогою несамогальмівної різьби.

Муфта пружно-інерційна запобіжна забезпечує плавність вмикання з одночасним збільшенням часу вмикання муфти, що покращує її експлуатаційні якості та технологічні можливості, зменшуються динамічні навантаження та спрощується її виготовлення.

Муфта пружно-інерційна запобіжна [80] (рис. 3.38) складається з ведучої півмуфти 1, встановленої за допомогою несамогальмівної нарізі 2 на ведучому валу 3 і підпружиненої через підшипник 4 пружиною 5 в сторону ведучого вала 3, сила стиснення якої регулюється гайками 6 та 7, веденої півмуфти 8, закріпленої за допомогою шпонки 9, шайби 10 та різьбових елементів 11 на веденому валу 12 та пружного елемента у вигляді клинового паса 13, розміщеного в канавці клинового профілю 14, що відповідає профілю поперечного перерізу клинового паса 13, утворений похилими поверхнями 15 і 16 півмуфт 1 і 8. У ведучій півмуфті 1 виконані радіальні пази 17, у яких для створення надійного початкового дебалансу і збільшенні інертності ведучої півмуфти розміщені вантажі 18. Несамогальмівна нарізь 2 на

ведучому валу 3 виконана в сторону протилежну напрямку обертання ведучого вала, що забезпечує переміщення ведучої півмуфти 1 в сторону веденої півмуфти 8 на початку обертання ведучого вала.

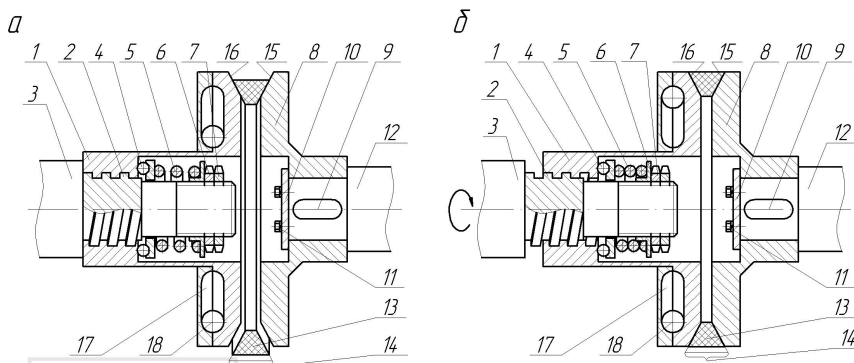


Рис. 3.38. Муфта інерційно-фрикційна запобіжна:

a – положення до роботи; *б* – під час роботи

Принцип роботи цієї муфти такий. До початку обертання ведучого вала ведуча півмуфта знаходиться в стані спокою і вантажі під дією сили тяжіння займають в пазах крайні нижні положення. Завдяки виконанню в ведучій півмуфті не менше трьох радіальних пазів, рівномірно розміщених по колу, вантажі займають крайнє нижнє положення в цих пазах, внаслідок чого зміщується центр ваги муфти нижче осі її обертання, що збільшує її інертність на початку обертання ведучого вала. Відтак на початку обертання ведучого вала ведуча півмуфта під дією сили, що виникає від інертності мас ведучої півмуфти зміщується по несамогальмівній нарізі в сторону веденої півмуфти і похилі поверхні півмуфт формують канавку клинового профілю, в якій, центруючись відносно осі обертання валів, затискується пружний елемент у вигляді клинового паса. При досягненні ведучою півмуфтою крайнього правого положення відбувається повне зчеплення бокових поверхонь пружного елемента – клинового паса з похилими поверхнями півмуфт внаслідок чого ведучий та ведений вали починають обертатися з однаковою кутовою швидкістю. При цьому вантажі під дією відцентрової сили переміщуються в пазах



до зовнішнього діаметра ведучої півмуфти, а її центр ваги зміщується до осі обертання і дисбаланс півмуфти зникає.

При спрацюванні бокових поверхонь клинового паса, а також при його розтягненні на певну величину, величина переміщення ведучої півмуфти регулюється гайками.

В процесі роботи муфти, при збільшенні обертального моменту на веденому валу, пружний елемент – клиновий пас проковзує між веденою та ведучою півмуфтами. Величина обертального моменту, що передається, регулюється силою стиснення пружини.

Муфта інерційно-фрикційна запобіжна проста за конструкцією та в обслуговуванні і забезпечує плавність вмикання з одночасним зменшенням часу неусталеного режиму роботи муфти, що покращує її експлуатаційні якості та технологічні можливості.

Муфта інерційно-фрикційна пружна без веденої півмуфти [98] (рис. 3.39) складається з рухомої втулки-стакана 1, встановленої на косих шліцах 2, виконаних на ведучому валу 3 в сторону протилежну напрямку його обертання, з закріпленою на ній кінцем з найбільшою шириною поперечного перетину зі сторони веденого вала 4 спіральною пружиною 5, а другим кінцем з найменшою шириною поперечного перетину закріпленою на ведучому валу 3. Навивка спіральної пружини 5 виконана в напрямку нахилу косих шліців, протилежному напрямку обертання ведучого вала.

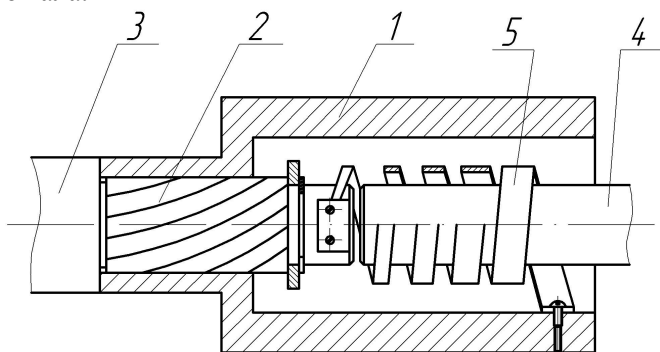


Рис. 3.39. Муфта інерційно-фрикційна пружна без веденої півмуфти



Муфта інерційно-фрикційна пружна працює так. В початковий момент обертання ведучого вала 3 рухома втулка-стакан 1 під дією сили, що виникає від інертності її маси, зміщується на косих шліцах 2 в сторону веденого вала 4. Завдяки тому, що рухома втулка-стакан 1 зміщується на косих шліцах 2 в сторону веденого вала 4 спіральна пружина 5 одночасно розтягується і закручується на відповідний кут, зменшується у діаметрі і по чергово її витки охоплюють ведений вал 4 в напрямку від його торця в сторону переміщення рухомої втулки-стакана 1. За рахунок сил тертя, що виникають між внутрішньою поверхнею спіральної пружини 5 і поверхнею веденого вала 4 обертальний момент від ведучого вала 3 передається на ведений вал 4 (рис. 3.40). Ведучий 3 і ведений 4 вали обертаються з однаковою кутовою швидкістю. При зупинці ведучого вала 3 спіральна пружина 5 під дією пружних сил приймає початкове положення і переміщає при цьому в початкове положення втулку-стакан 1. Ведучий 3 і ведений 4 вали роз'єднуються і обертальний момент не передається.

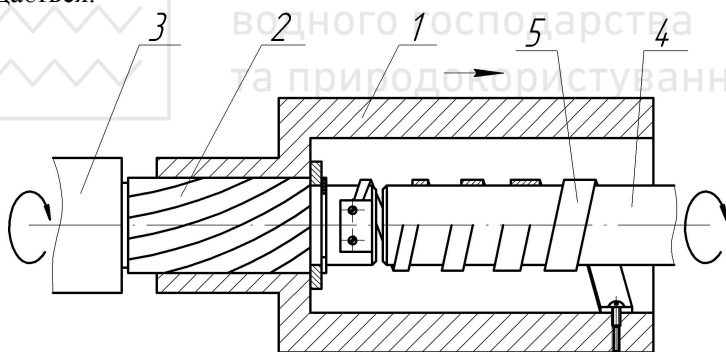


Рис. 3.40. Муфта інерційно-фрикційна пружна в робочому стані

Одночасне розтягування і закручування спіральної пружини 5 в момент вмикання муфти в напрямку від торця веденого вала 4 в сторону переміщення втулки-стакана 1 забезпечує плавний рівномірний по черговий контакт внутрішніх поверхонь витків спіральної пружини 5 і поверхні веденого вала 4, що в свою чергу забезпечує м'яку і плавну передачу обертального моменту. Це забезпечується виконанням розгортки спіральної пружини 5 різної



конфігурації – змінної ширини поперечного перетину по довжині, наприклад: a – прямолінійна залежність зміни ширини прямокутного перетину; b – зміна ширини прямокутного перетину по ввігнутій кривій; \bar{b} – зміна ширини прямокутного перетину по опуклій кривій. Стрічки можливо застосовувати різноманітної форми. Ефективніше застосовувати стрічки простіших форм, що наведені на рис. 3.41. Такі стрічки рівномірніше притискаються до поверхні веденого вала, що сприяє збільшенню передавального обертального моменту.



Рис. 3.41. Форма стрічки для пружних елементів прямокутного перетину: a – зі прямолінійною зміною ширини b ; \bar{b} , b – зі зміною ширини радіусом R

Більше того наведені конструкції пружних елементів будуть мати різну нелінійну жорсткість, але загальною характерною ознакою для всіх цих пружних елементів є те, що вони крім стиснення-розтягування будуть працювати і на закручування.

Відтак, для кожного випадку можна отримати бажану характеристику зміною товщини і ширини прямокутного перетину або діаметра круглого перетину, а також зміною діаметрів пружних елементів та кількістю і кроком їх витків. Для прикладу на рис. 3.42 показані жорсткісні характеристики муфт з пружними елементами, де маємо: a – з плоскою пружиною кручення (l – із сталими: товщиною s , шириною b стрічки і кількістю витків n ; $4a$ – із змінною s ; $4\bar{b}$ – із змінною b); \bar{b} – з плоскою спіральною пружиною (l – із заданими: діаметром D і n , шириною стрічки b_{min} і b_{max} ; 2 – із зменшеною b ; 3 – із збільшеним D).

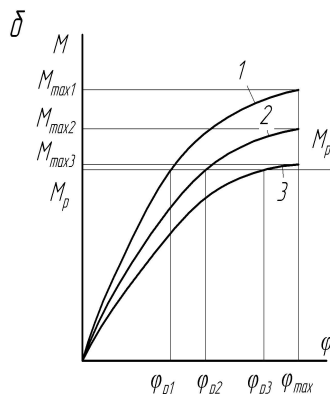
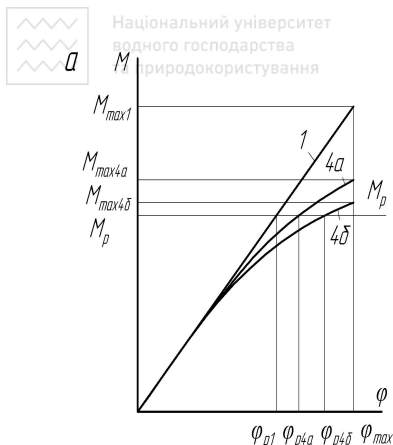


Рис. 3.42. Характеристики інерційно-фрикційних муфт з металевими пружними елементами

Муфта інерційно-фрикційна пружна [100] (рис. 3.43) за конструкцією і принципом роботи подібна до попередньої та відрізняється від неї тим, що пружний елемент виконаний круглого перетину.

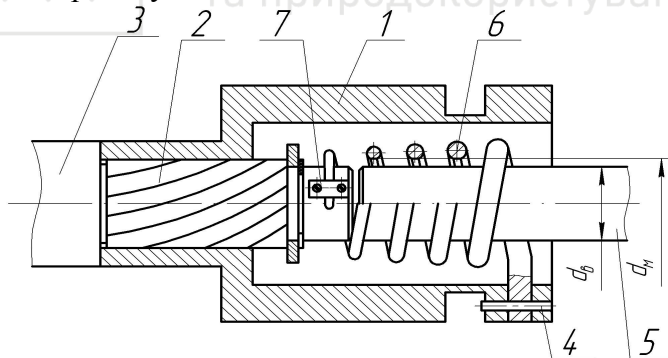


Рис. 3.43. Муфта інерційно-фрикційна пружна до роботи

Така муфта інерційно-фрикційна пружна складається з рухомої втулки-стакана 1, встановленої на косих шліцах 2, виконаних на ведучому валу 3 в сторону протилежну напрямку його обертання, з закріпленою на ній кінцем з найбільшим діаметром, наприклад, штифтом 4 зі сторони веденого вала 5 циліндричною пружиною розтягування 6, а другим кінцем з



водного господарства
та природокористування

найменшим діаметром закріпленою на ведучому валу 3 за допомогою, наприклад, пластини 7. Навивка циліндричної пружини розтягування 6 виконана в напрямку нахилу косих шліців 2.

Для кращого контакту пружини 6 з веденим валом 5 на її внутрішній поверхні виконана проточка діаметром d_m більшим за максимальний діаметр вала d_e .

Муфта інерційно-фрикційна пружна працює так (рис. 3.44). В початковий момент обертання ведучого вала 3 рухома втулка-стакан 1 під дією сили, що виникає від інертності її маси, зміщується на косих шліцах 2 в сторону веденого вала 5. Завдяки тому, що рухома втулка-стакан 1 зміщується на косих шліцах 2 в сторону веденого вала 5 циліндрична пружина розтягування 6 одночасно розтягується і закручується на відповідний кут, зменшується у діаметрі і по чергові її витки охоплюють ведений вал 5 в напрямку від його торця в сторону переміщення рухомої втулки-стакана 1. За рахунок сил тертя, що виникають між внутрішньою поверхнею циліндричної пружини розтягування 6 і поверхнею веденого вала 5 обертальний момент від ведучого вала 3 передається на ведений вал 5. Ведучий 3 і ведений 5 вали обертаються з однаковою кутовою швидкістю. При зупинці ведучого вала 3 циліндрична пружина розтягування 6 під дією пружних сил приймає початкове положення і переміщає при цьому в початкове положення втулку-стакан 1. Ведучий 3 і ведений 5 вали роз'єднуються.

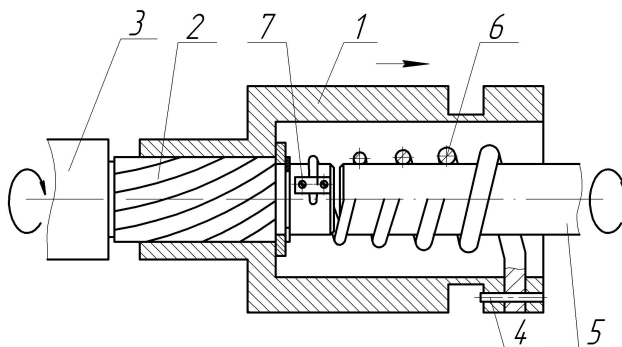


Рис. 3.44. Муфта інерційно-фрикційна пружна в роботі



Однчасне розтягування і закручування спіральної пружини 6 в момент вмикання муфти в напрямку від торця веденого вала 5 в сторону переміщення втулки-стакана 1 забезпечує плавний рівномірний почерговий контакт внутрішніх поверхонь витків циліндричної пружини розтягування 6 і поверхні веденого вала 4, що в свою чергу забезпечує м'яку і плавну передачу обертального моменту. Це забезпечується виконанням круглого дроту циліндричної пружини розтягування 6 різних діаметрів по довжині та отримати потрібну характеристику пружності муфти. Здебільшого пружна характеристика буває нелінійною, подібною до залежності, що наведено на рис. 3.45.

Муфта інерційно-фрикційна пружна з пружним елементом із круглого дроту різних діаметрів по довжині забезпечує більш плавну передачу обертальних моментів.

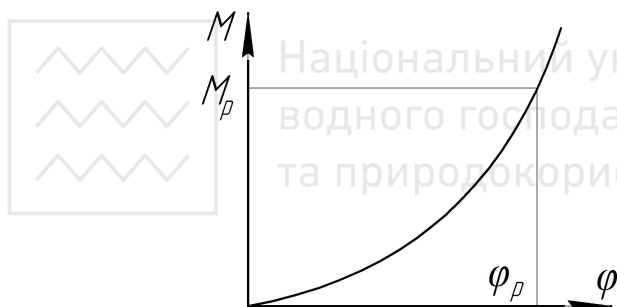


Рис. 3.45. Загальний вигляд характеристики муфти

Розроблена та також запатентована муфта інерційно-фрикційна [61] (рис. 3.46). Вона складається з проміжної втулки 1, у торці в кільцевій канавці 2 якої закріплена пружна бочкоподібна оболонка 3 з поздовжніми пазами 4 і фланцем 5 на торці. На зовнішній поверхні проміжної втулки 1 виконані косі шліци 6, в сторону протилежну напрямку обертання, на яких встановлена втулка-стакан 7, на торці якої виконаний фланець 8, що має радіальні пази 9 для розміщення вантажів 10. До фланця 8 за допомогою шайби 11, кришки наскрізної 12 та гвинтів 13 через фланець 5 кріпиться пружна бочкоподібна оболонка 3.

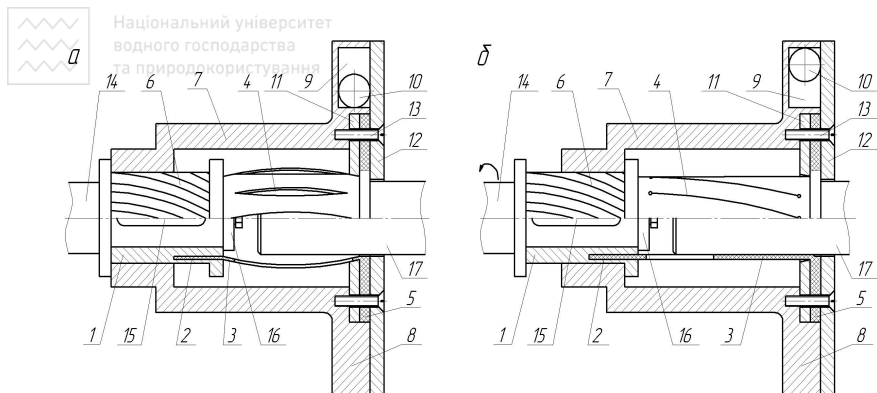


Рис. 3.46. Муфта інерційно-фрикційна:
а – положення до роботи; б – робоче положення

Під час з'єднання кінців валів, проміжна втулка 1 встановлюється на ведучий вал 14 і жорстко з'єднується з ним, наприклад, шпонкою 15 і шайбою 16, а ведений вал 17 встановлюється у порожнину пружної бочкоподібної оболонки 3 через отвір кришки наскрізної 12, для взаємодії з нею через тертя. Після виконання цих монтажних операцій муфта повністю готова до передавання обертового моменту. Цей процес відбувається за такою послідовністю.

Зрозуміло, що до початку обертання ведучого вала муфта знаходиться в стані спокою і вантажі під дією сили тяжіння займають в пазах крайні нижні положення. Завдяки виконанню в фланці втулки-стакана не менше трьох радіальних пазів, рівномірно розміщених по колу, вантажі займають крайнє нижнє положення в цих пазах, а це в свою чергу приводить до зміщення центра ваги муфти нижче осі її обертання, що збільшує її інертність в початковий момент обертання ведучого вала. При вмиканні двигуна, в початковий момент обертання ведучого вала втулка-стакан під дією сили, що виникає від інертності мас муфти, зміщується на косих шліцах проміжної втулки в осьовому напрямку (ліворуч, рис. 3.46, б). Внаслідок цього пружна бочкоподібна оболонка розтягується і дещо закручується, зменшуючись у діаметрі та щільно охоплює ведений вал. За рахунок сил тертя, що виникають між внутрішньою поверхнею пружної бочкоподібної оболонки і поверхнею веденого вала, обертовий момент від ведучого вала передається на ведений вал.



тобто муфта набуває робочого режиму. При цьому вантажі під дією відцентрової сили переміщуються в пазах до їх зовнішніх кінців, центр ваги півмуфти зміщується до осі її обертання і дисбаланс півмуфти зникає.

При зупинці ведучого вала проміжна втулка за рахунок сили інерції продовжує дещо обертатися і зміщується у зворотному напрямку, а пружна бочкоподібна оболонка повертається до початкової форми та роз'єднує ведучий і ведений вали (рис. 3.46, а).

Муфта інерційна регульована [102] (рис. 3.47) складається з рухомої втулки-стакана 1 з'єднаної за допомогою несамогальмівної нарізі 2 з ведучим валом 3, витки несамогальмівної нарізі 2 направлені в сторону протилежну напрямку обертання ведучого вала 3, і підпружинена в сторону веденого вала 4 через підшипник 5 пружиною 6, жорсткість якої регулюється гайкою-кожухом 7, яка фіксується на ведучому валу 3 контргайкою 8. Зі сторони веденого вала 4 на торці 9 рухомої втулки-стакана 1 закріплений пружний елемент 10, який виконаний у вигляді циліндричної оболонки з еластичних кордових шнурів 11, одним кінцем закріплених через рівні проміжки по зовнішньому діаметру торця 9 в отворах 15 шайбою 16. Для зручності утворення циліндричної оболонки кордовий шнур береться щільним і просувається послідовно через отвори 12 торця 9 рухомої втулки-стакана 1 і отвори 15 фланця 14 і затискаються відповідно шайбами 13 і 16, при цьому кордовий шнур натягується в межах його пружної деформації. Фланець 14 жорстко встановлений на ведучому валу 3 за допомогою шпонки 17 і шайби 18. Для регулювання муфти при передачі обертального моменту від ведучого вала 3 на ведений вал 4 різних діаметрів на зовнішній поверхні 19 рухомої втулки-стакана 1 виконано градуювання 20 діаметрів веденого вала 4.

Муфта інерційна регульована працює так. При вмиканні двигуна, в початковий момент обертання ведучого вала 3 рухома втулка-стакан 1 під дією сили, що виникає від інертності маси зміщується на несамогальмівній нарізі 2 ведучого вала 3 в осьовому напрямку в сторону ведучого вала 3. Завдяки тому, що рухома втулка-стакан 1 зміщується на несамогальмівній нарізі 2 ведучого вала 3 в сторону від веденого вала 4 до повного стискання пружини 6, величина ходу якої відрегульована гайкою-кожухом 7 на певний діаметр веденого вала 4, розмір якого фіксується співпадінням торця гайки-кожука 7 і заданої величини діаметра веденого вала 4 на градуюванні 20, пружний елемент 10 у вигляді циліндричної

оболонки скорочується в межах пружної деформації кордових шнурів 11 і закручується на відповідний кут, зменшуючись у діаметрі охоплює ведений вал 4. За рахунок сил тертя, що виникають між еластичними кордовими шнурами 11 та поверхнею веденого вала 3 обертальний момент з ведучого вала 3 передається на ведений вал 4 – вали 3 і 4 обертаються з однаковою кутовою швидкістю. При зупинці ведучого вала 3 рухома втулка-стакан 1, під дією пружини 6 зміщується в зворотному напрямку і кордові шнури 11 повертаються в початкове положення – вали 3 і 4 роз'єднуються. Для передачі обертального моменту від ведучого вала 3 до веденого вала 4 іншого діаметра хід пружини 6 регулюється гайкою-кожухом 7 до співпадіння торця гайки-кожуха 7 з градуюванням 20 під відповідний діаметр.

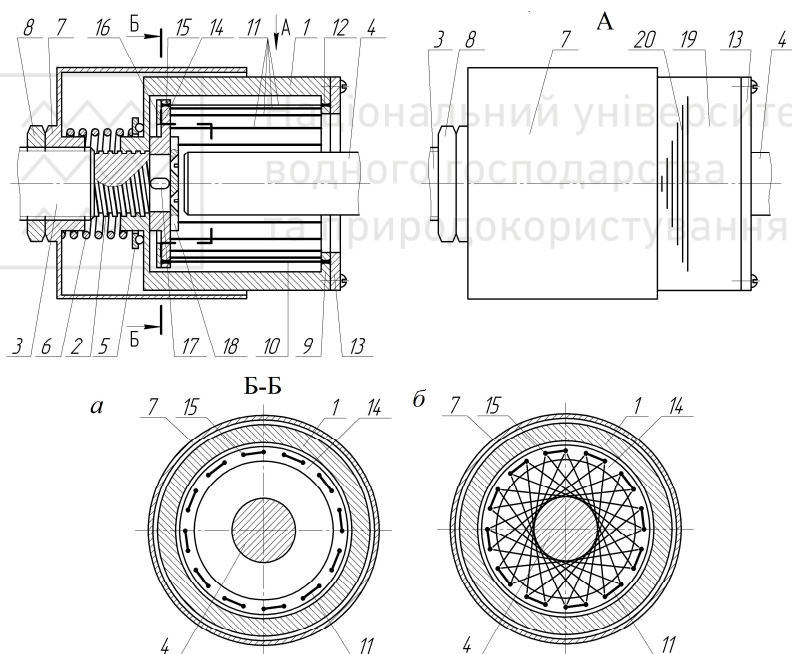


Рис. 3.47. Муфта інерційна регульована:
а – у неробочому стані; б – у робочому стані

Для передачі підвищених обертальних моментів від ведучого вала 3 до веденого вала 4 їх кінці можуть бути виконані з фігурними поперечними перетинами, наприклад, трикутними або



водного господарства
та природокористування

квадратними, що забезпечує більш щільне охоплення кордовими шнурами 11 кінців ведених валів 4 (рис. 3.48).

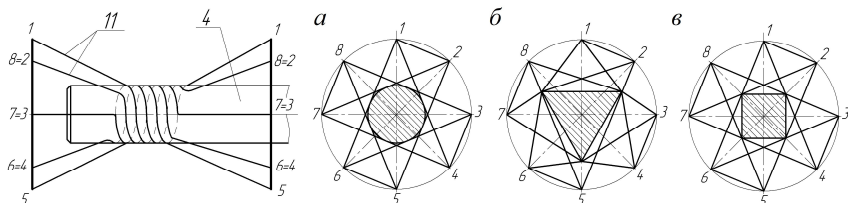


Рис. 3.48. Варіанти розміщення шнурів муфти інерційної регульованої:
а, б і в – охоплення циліндричною оболонкою з восьми кордових шнурів
круглого, квадратного і трикутного перетинів веденого вала

Нелінійні пружні характеристики муфти для різних форм перерізу веденого вала показані на рис. 3.49: з круглим ($M_{pцл} = f(\varphi_{pцл})$), квадратним ($M_{pкв} = f(\varphi_{pкв})$) і трикутним ($M_{pтр} = f(\varphi_{pтр})$) поперечними перерізами.

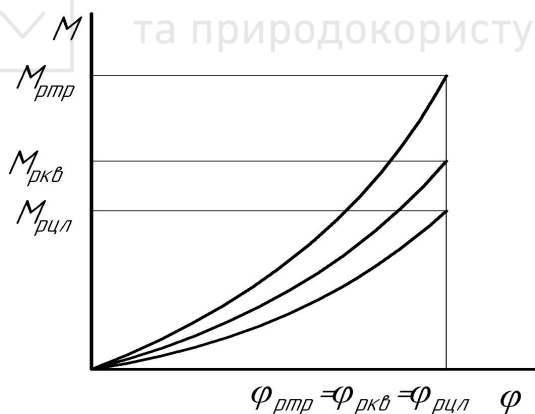


Рис. 3.49. Нелінійні характеристики муфти при виконанні
веденого вала з круглим, квадратним і трикутним поперечними перерізами

Запропонована муфта інерційна регульована має підвищені експлуатаційні і технологічні характеристики і забезпечує передачу підвищених обертальних моментів на ведені вали з різними діаметрами.



4. СПЕЦІАЛЬНІ МУФТИ

4.1. Муфти еластичні

Муфта еластична [119] (рис. 4.1) складається з еластичного елемента 1, який при допомозі притискних кілець 2 і 3 закріплений з двох сторін фланців 4 і 5 півмуфт 6 і 7 за допомогою нарізевих з'єднань 8. Еластичний елемент 1 закріплений на протилежних сторонах фланців 4 і 5 півмуфт 6 і 7 по чергово пелюстками 9 через сусідні отвори 10 пелюстків 9, які при установці еластичного елемента 1 на півмуфти 6 і 7 розміщуються співвісно поздовжнім осям нарізевих з'єднань 8. Таке встановлення еластичного елемента 1 на півмуфти 6 і 7 зменшує податливість муфти на скручування та покращує її пружність. Еластичний елемент 1 виготовляється з стандартної гумової стрічки у вигляді центральної стрічки 11 з парною кількістю пелюстків 9, які формуються з обох сторін, перпендикулярно від центральної стрічки 11, шляхом виконання прямолінійних надрізів 12 від отворів 13, призначених для зменшення концентрації напружень в місці згину пелюстків 9.

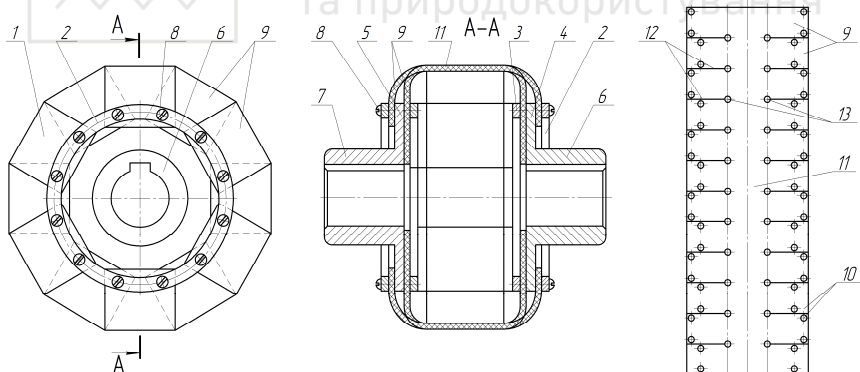


Рис. 4.1. Муфта еластична, її переріз *A-A* та еластичний елемент у розгорнутому вигляді

На пелюстках 9 виконані отвори 10 для кріплення еластичного елемента 1 до фланців 4 і 5 півмуфт 6 і 7 за допомогою нарізевих з'єднань 8. Замкнута по колу багатогранна тороподібна оболонка еластичного елемента 1, завдяки центральній стрічці 11,



яка утворює багатогранне кільце та закріплені по обидві сторони фланців 4 і 5 півмуфт 6 і 7 пелюстки 9 утворюють жорстку конструкцію, що підвищує її стійкість від скручування та покращує пружність муфти в цілому.

Муфта еластична працює так. Під час роботи, наприклад вібромашини, муфта, яка з'єднує вал двигуна з валом віброзбуджувача, внаслідок інтенсивного коливання робочого органа (контейнера) у вертикальній площині, сприймає інтенсивні радіальні навантаження, до яких муфта досить податлива. В той же час, маючи значну осьову жорсткість центральної стрічки 11 та підвищену жорсткість пелюстків 9, із-за їх почергового закріплення з обох сторін фланців 4 і 5 півмуфт 6 і 7, муфта практично не скручується, забезпечуючи синхронне обертання послідовно з'єднаних валів.

Для більшої наочності на рис. 4.2 показана модель муфти еластичної такого варіанту.

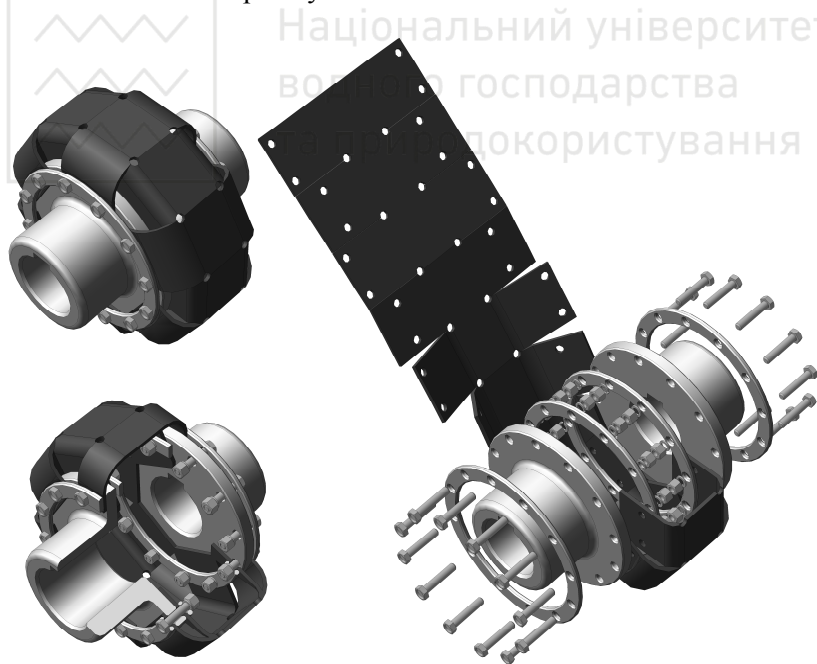


Рис. 4.2. Комп'ютерна модель еластичної муфти



Розглянута еластична муфта проста у виготовленні і забезпечує технологічні потреби при передачі значних обертальних моментів від двигуна та валів віброзбуджувачів вібраційних та інших машин.

Далі розглядаються трубчасті еластичні муфти. Загальним для різних конструкцій трубчастих еластичних муфт є те, що вони виготовлені з еластичної неметалевої трубки 1, наприклад, пропіленої або гумової з неметалевим кордом, розрізаної вздовж по гвинтовій лінії 2, причому її внутрішній діаметр d менший діаметрів ведучого і веденого валів, що показано на рис. 4.3.

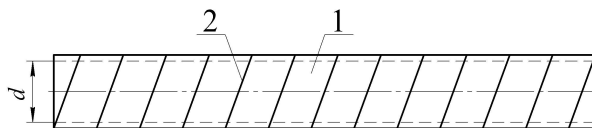


Рис. 4.3. Трубка еластична

Муфта еластична [108] (рис. 4.4) виготовлена у вигляді трубки 1, розрізаної вздовж по гвинтовій лінії 2, причому її внутрішній діаметр d менший діаметрів ведучого 3 – $d_{вч}$ і веденого 4 – $d_{вд}$ валів. Співвідношення між діаметрами ведучого 3 і веденого 4 валів можуть бути трьох видів: $d_{вч} = d_{вд}$; $d_{вч} < d_{вд}$ і $d_{вч} > d_{вд}$. Такі співвідношення між розмірами діаметрів валів забезпечують проковзування муфти на одному із двох валів при перевищенні допустимого обертального моменту, в залежності від технологічних вимог та заданого режиму роботи механічного приводу. При $d_{вч} = d_{вд}$ і однаковій кількості витків муфти на валах, муфта буде проковзувати на одному з валів, або на тому валу де менше витків; при $d_{вч} > d_{вд}$ муфта буде проковзувати на веденому валу 4 і при $d_{вч} < d_{вд}$ – на ведучому валу 3.

Муфта еластична працює так. При обертанні ведучого вала 3 завдяки силам пружності витків муфти 1 виникає сила тертя між внутрішніми поверхнями витків муфти 1 та ведучим валом 3, яка приводить до закручування муфти 1, а відповідно до зменшення її внутрішнього діаметра d , і обтискання муфтою 1 ведучого 3 і веденого 4 валів. Обертальний момент з ведучого вала 3 передається на ведений вал 4. Завдяки еластичності муфти 1 обертальний момент так само передається і з ведучого вала 3 на



ведений вал 4, який розміщений під кутом до ведучого вала 3. При досягненні допустимого обертового моменту та виникненні сил опору більших сил тертя витків муфти 1 один з валів проковзує у муфті 1. Якщо необхідно проковзування веденого вала 4 у муфті 1 його діаметр $d_{вд}$ виконується меншим діаметра $d_{вч}$ ведучого вала 3. При необхідності проковзування ведучого вала 3 у муфті 1 його діаметр $d_{вч}$ виконується меншим діаметра $d_{вд}$ веденого вала 4. Для регулювання, наприклад, зменшення допустимого обертового моменту, що передається з ведучого вала 3 на ведений вал 4 муфта 1 пересовується з веденого вала 4 на ведучий вал 3, чим зменшується кількість витків муфти 1, що охоплюють ведений вал 3 і відповідно зменшуються сили тертя між внутрішніми поверхнями витків муфти 1 та веденим валом 4. Тому при меншій кількості витків муфти 1, що охоплюють ведений вал 4, муфта 1 буде проковзувати при меншому допустимому обертовому моменті.

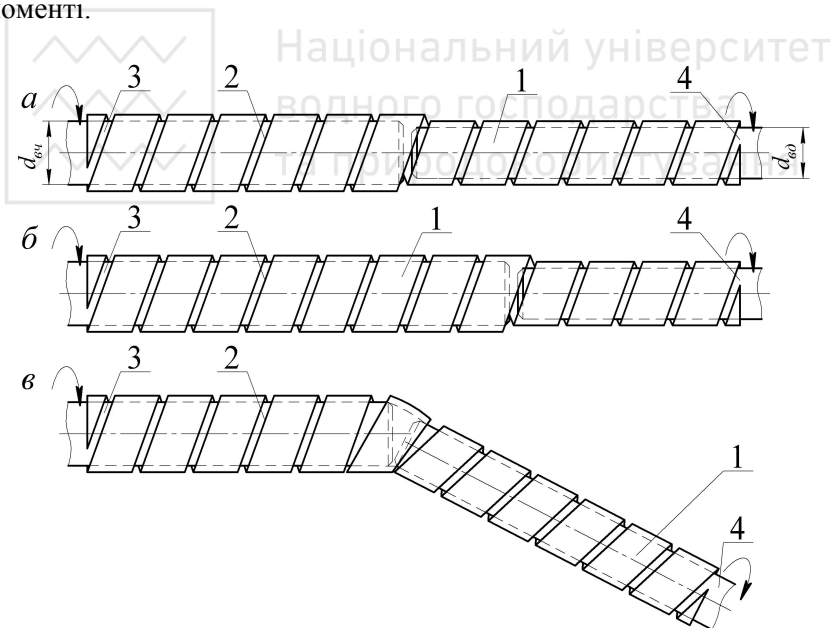


Рис. 4.4. Муфта еластична: а – охоплення валів однаковим числом витків; б – охоплення валів різним числом витків; в – передача обертового моменту під кутом



Така муфта забезпечує передачу обертальних моментів на ведені вали з різними діаметрами та між валами розміщеними під кутом один до одного і проста за конструкцією.

Муфта еластична [112] (рис. 4.5) виготовлена з еластичної неметалевої трубки 1, наприклад, пропіленової або гумової з неметалевим кордом, розрізаної вздовж по гвинтовій лінії, яка розміщується на ведучому 2 і веденому 3 валах, між якими в їх торцях у сферичних виїмках 4 і 5 розміщена кулька 6. Внутрішній діаметр еластичної неметалевої трубки 1, розрізаної вздовж по гвинтовій лінії, менший діаметрів ведучого 2 і веденого 3 валів, що забезпечує обтискання згаданих валів 2 і 3 та створення сил тертя між внутрішньою поверхнею еластичної неметалевої трубки 1, розрізаною вздовж по гвинтовій лінії, та зовнішніми поверхнями валів 2 і 3. Радіуси виїмок на торцях валів 2 і 3 рівні радіусу кульки 6, а діаметр кульки 6 рівний діаметру більшого із валів 2 або 3, що забезпечує плавний перехід внутрішньої поверхні еластичної неметалевої трубки 1, розрізаної вздовж по гвинтовій лінії, при з'єднанні валів 2 і 3 різного діаметра.

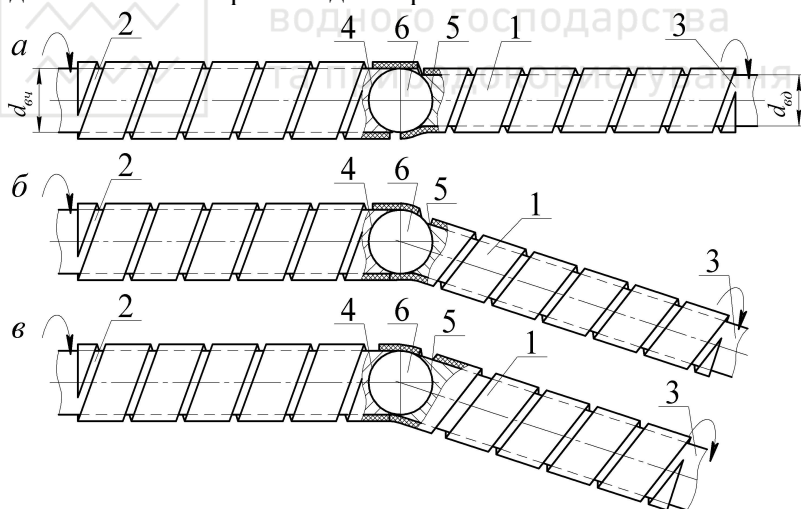


Рис. 4.5. Муфта еластична з стиком торців валів через кульку

Муфта еластична працює так. При обертанні ведучого вала 2 завдяки силам пружності витків еластичної неметалевої трубки 1, розрізаної вздовж по гвинтовій лінії, виникає сила тертя між



внутрішніми поверхнями витків еластичної неметалевої трубки 1 та зовнішніми поверхнями ведучого 2 і веденого 3 валів. Сила тертя приводить до закручування еластичної неметалевої трубки 1, а відповідно до зменшення її внутрішнього діаметра, а з-за цього збільшується обтискання ведучого 2 і веденого 3 валів. Обертальний момент з ведучого вала 2 передається на ведений вал 3. Завдяки еластичності неметалевої трубки 1, розрізаної вздовж по гвинтовій лінії, обертальний момент так само передається коли вали 2 і 3 мають різні діаметри, або розміщений під кутом один до одного. Розміщена в торцях валів 2 і 3 у виїмках 4 і 5 кулька 6 забезпечує плавний перехід еластичної неметалевої трубки 1 від поверхні вала меншого діаметра до поверхні вала більшого діаметра або навпаки, а також при передачі обертального моменту під кутом, що зменшує надлишкові деформації еластичної неметалевої трубки 1 у цьому місці. При досягненні допустимого обертального моменту та виникненні сил опору більших сил тертя витків неметалевої трубки 1, розрізаної вздовж по гвинтовій лінії, один з валів, як правило меншого діаметра, проковзує. Муфта забезпечує передачу обертальних моментів на ведені вали з різними діаметрами та між валами розміщеними під кутом один до одного без надлишкової деформації еластичної неметалевої трубки розрізаної вздовж по гвинтовій лінії, що підвищує надійність і довговічність муфти.

Муфта еластична [138] (рис. 4.6) виготовлена з трубки 1, розрізаної вздовж по гвинтовій лінії, яка з'єднує ведучий 2 і ведений 3 вали. При цьому, трубка 1 встановлена в кільцеві отвори 4 і 5, виконані на торцях, відповідно, ведучого 2 і веденого 3 валів, внутрішні діаметри яких трохи більші внутрішнього діаметра еластичної неметалевої трубки 1, а зовнішні діаметри кільцевих отворів визначаються за формулою

$$d_2 = d_1 + 2\delta, \quad (4.1)$$

де d_1 – внутрішні діаметри кільцевих отворів 4 і 5, відповідно, ведучого 2 та веденого 3 валів; δ – товщина еластичної неметалевої трубки 1.

У торцях валів 2 і 3 виконані сферичні виїмки 6 і 7, у яких розміщена кулька 8. Радіуси сферичних виїмок 6 і 7 рівні радіусу кульки 8, а діаметр кульки 8 не більший внутрішнього діаметра еластичної неметалевої трубки 1.



Муфта еластична працює так. При обертанні ведучого вала 2 завдяки силам пружності витків еластичної неметалевої трубки 1 виникає сила тертя між внутрішніми поверхнями витків еластичної неметалевої трубки 1 та зовнішніми поверхнями кільцевих отворів 4 і 5 ведучого 2 і веденого 3 валів, відповідно. Коли напрямок витків зворотний напрямку обертання це приводить до закручування еластичної неметалевої трубки 1, а, відповідно, до зменшення її внутрішнього діаметра, і обтискання внутрішніх поверхонь кільцевих отворів 4 і 5 ведучого 2 і веденого 3 валів. Обертальний момент з ведучого вала 2 передається на ведений вал 3. При досягненні допустимого обертального моменту та виникненні сил опору більших сил тертя витків еластичної неметалевої трубки 1 можливе проковзування і муфта спрацьовує як запобіжна. При передачі обертального моменту в зворотному напрямку, тобто в реверсивному режимі, аналогічним чином спрацьовує еластична неметалева трубка 1, яка розкручується і розтискається, тоді витки притискаються до зовнішньої поверхні кільцевих отворів 4 і 5, відповідно, ведучого 3 та веденого 4 валів.

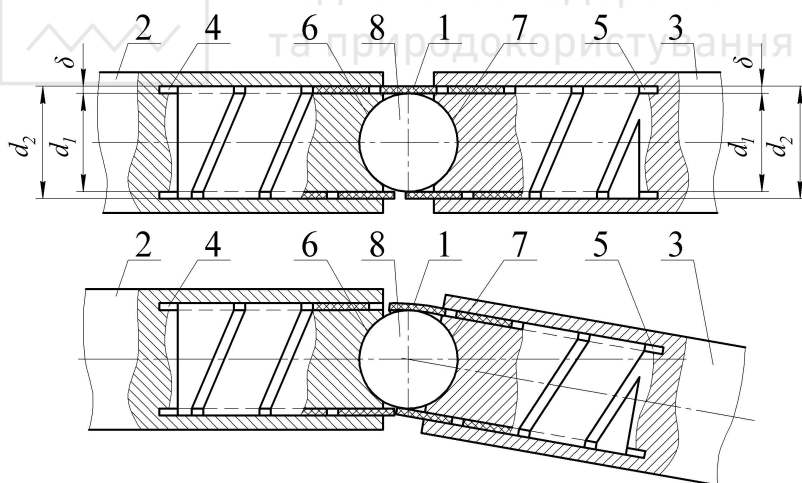


Рис. 4.6. Муфта еластична з трубкою встановленою в кільцеві вирізи у торцях валів

Муфта такої конструкції забезпечує передачу обертальних моментів на ведені вали в реверсивному режимі, як на ведені вали,



що знаходяться на одній осі з ведучими валами так і на вали, що знаходяться під різними кутами до них.

Муфта еластична [139] (рис. 4.7) складається з трубок 1 і 2, розрізаних вздовж по гвинтових лініях протилежних напрямків, які коаксіально розміщені на ступінчастих кінцях ведучого 3 і веденого 4 валів. Трубка 1 меншого діаметра розміщена на кінцях менших ступеней 5 і 6, а трубка 2 розміщена на кінцях більших ступеней 7 і 8 валів 3 і 4. У торцях валів 3 і 4 у сферичних виїмках 9 і 10 розміщена кулька 11. Внутрішні діаметри еластичних неметалевих трубок 1 і 2 менші діаметрів кінців 5 і 6 та 7 і 8, відповідно, що забезпечує обтискання зазначених кінців і створення сил тертя між внутрішніми поверхнями еластичних неметалевих трубок 1 і 2 та зовнішніми поверхнями кінців 5, 6, 7 і 8 валів 3 і 4 відповідно. Радіуси сферичних виїмок 9 і 10 рівні радіусу кульки 11, а діаметр кульки 11 не більший внутрішнього діаметра еластичної неметалевої трубки 1.

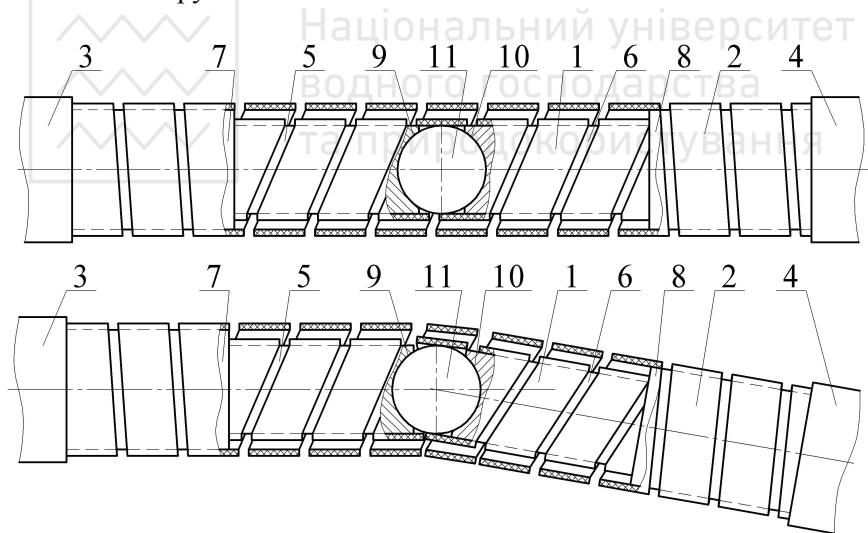


Рис. 4.7. Реверсивна муфта еластична з двома трубками

Муфта еластична працює так. При обертанні ведучого вала 3 завдяки силам пружності витків муфти 1 виникає сила тертя між внутрішніми поверхнями витків еластичної неметалевої трубки 1 та зовнішніми поверхнями кінців 5 і 6 ведучого 3 і веденого 4 валів



відповідно, коли напрямок витків зворотний напрямку обертання це приводить до закручування еластичної неметалевої трубки 1, а відповідно до зменшення її внутрішнього діаметра, і обтискання кінців 5 і 6 ведучого 3 і веденого 4 валів. Обертальний момент з ведучого вала 3 передається на ведений вал 4. При досягненні допустимого обертального моменту та виникненні сил опору більших сил тертя витків еластичної неметалевої трубки 1 можливе проковзування і муфта спрацьовує як запобіжна. При передачі обертального моменту в зворотному напрямку, тобто в реверсивному режимі, аналогічним чином спрацьовує еластична неметалева трубка 2, витки якої виконані в протилежному напрямку виткам еластичної неметалевої трубки 1, внутрішня поверхня якої контактує з зовнішніми поверхнями ступеней 7 і 8 ведучого 3 та веденого 4 валів.

Така муфта еластична забезпечує передачу обертальних моментів на ведені вали в реверсивному режимі, як на ведені вали, що знаходяться на одній осі з ведучими валами так і на вали, що знаходяться під різними кутами до них.

Муфта еластична [140] (рис. 4.8) виготовлена з еластичної неметалевої трубки 1, розрізаної вздовж по гвинтовій лінії, яка встановлена на кінцях ведучого 2 і веденого 3 валів у кільцеві канавки 4 і 5 утворені втулками 6 і 7. Втулки 6 і 7 з'єднані відповідно з валами 2 і 3, наприклад, штифтами 8. При цьому, внутрішні діаметри кільцевих отворів дещо більші внутрішнього діаметра еластичної неметалевої трубки 1. Зовнішні діаметри кільцевих отворів визначаються також за формулою (4.1)

У торцях валів 2 і 3 виконані сферичні виїмки 9 і 10, у яких розміщена кулька 11. Радіуси сферичних виїмок 9 і 10 рівні радіусу кульки 11, а діаметр кульки 11 не більший внутрішнього діаметра еластичної неметалевої трубки 1. Діаметри кульок завжди необхідно погоджувати з внутрішнім діаметром еластичної неметалевої трубки.

Муфта еластична працює так. При обертанні ведучого вала 2, завдяки силам пружності витків еластичної неметалевої трубки 1 виникає сила тертя між внутрішніми поверхнями витків еластичної неметалевої трубки 1 та зовнішньою поверхнею кінців ведучого 2 і веденого 3 валів, відповідно. Коли напрямок витків зворотний напрямку обертання, це приводить до закручування еластичної неметалевої трубки 1, а, відповідно, до зменшення її внутрішнього

діаметра, і обтискання кінців ведучого 2 і веденого 3 валів. Обертальний момент з ведучого вала 2 передається на ведений вал 3. При досягненні допустимого обертального моменту та виникненні сил опору більших сил тертя витків еластичної неметалевої трубки 1 можливе проковзування і муфта спрацює, як запобіжна. При передачі обертального моменту в зворотному напрямку, тобто в реверсивному режимі, еластична неметалева трубка 1 розкручується і розтискається, створюється сила тертя між її зовнішньою поверхнею та внутрішніми поверхнями втулок 6 і 7.

Муфта забезпечує передачу обертальних моментів, як у попередньому випадку.

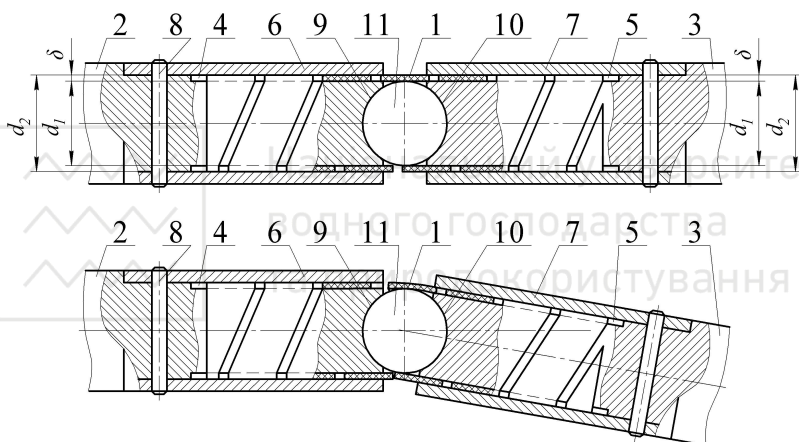


Рис. 4.8. Муфта еластична з трубкою встановленою у кільцеві канавки утворені між валами і втулками

Муфта еластична [141] (рис. 4.9) виготовлена з еластичної неметалевої трубки 1, розрізаної вздовж по гвинтовій лінії з змінним кроком $p_1, p_2, p_3, \dots, p_{\max}$ до середини довжини, а від середини довжини $p_{\max}, \dots, p_3, p_2, p_1$, яка з'єднує ведучий 2 і ведений 3 вали. У торцях валів 2 і 3 виконані сферичні лунки, відповідно 4 і 5, у які вставлена кулька 6.

Муфта еластична працює так. При обертанні ведучого вала 2 завдяки силам пружності витків еластичної неметалевої трубки 1 виникає сила тертя між внутрішніми поверхнями витків еластичної неметалевої трубки 1 та зовнішніми поверхнями ведучого 2 і



веденого 3 валів, відповідно. Так як з торців витки мають менші розміри, то їх жорсткість менша і вони у першу чергу охоплюють вали. Тому сили тертя із-за цього збільшуються поступово і обертальний момент, який передає муфта, також збільшується поступово до максимального. Кулька 6 служить для центрування валів і зменшення їх радіальних коливань при передачі обертальних моментів. Така конструкція забезпечує передачу обертального моменту з одного на другий вал шляхом виникнення максимальних сил тертя між внутрішньою поверхнею еластичного елемента та зовнішніми поверхнями валів, як на ведені вали, що знаходяться на одній осі з ведучими валами, так і на вали, що знаходяться під різними кутами до них.

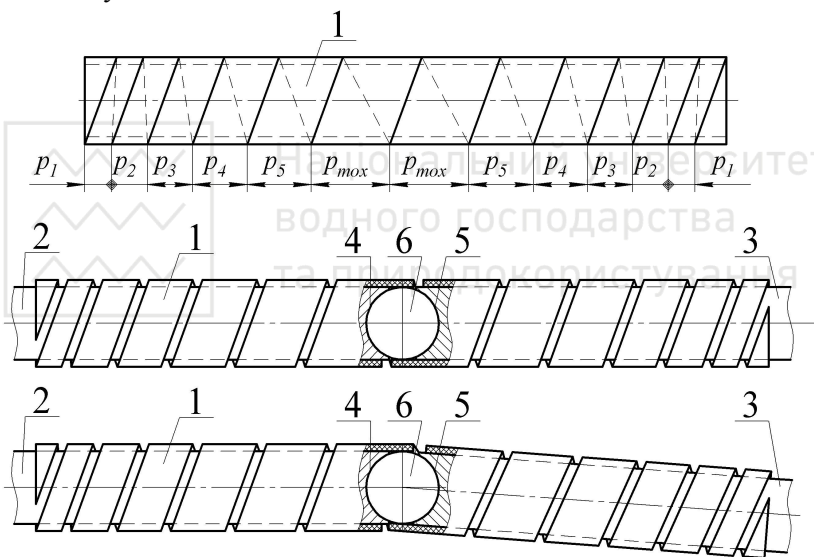


Рис. 4.9. Муфта еластична з трубкою з різним кроком гвинтової лінії

4.2. Пружна планетарна муфта

Планетарна муфта [55] показана на рис. 4.10. Муфта складається з ведучої півмуфти 1, у вигляді зубчастого колеса з внутрішніми зубцями, і веденої півмуфти 2, у вигляді водила на якому закріплені пальці 3 з встановленими на них рухомо сателітами 4 з порожнинами 5. На торцях сателітів 4 і в пальцях 3



виконані радіальні пази 6 і 7. У порожнинах 5 встановлені пружини 8, виконані у вигляді спіралей Архімеда, одним кінцем закріплені в пазах 6 пальців 3, а другим у пазах 7 сателітів 4. Рухома частина планетарної муфти закрита кришкою 9.

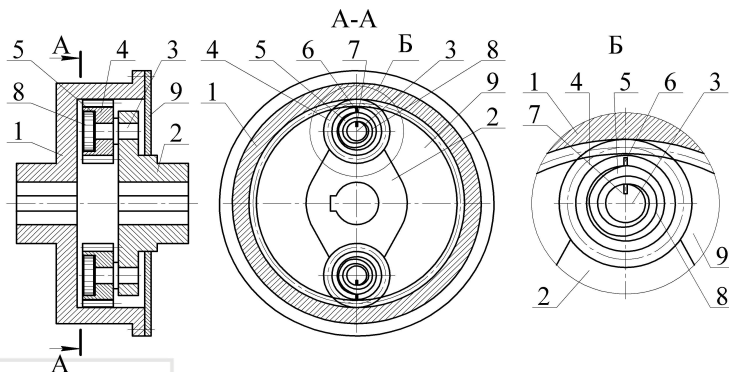


Рис. 4.10. Конструкція нової пружної планетарної муфти

Коли збирають муфту, на пальці 3, яких може бути один або більше, встановлюють сателіти 4, а в порожнини 5 встановлюють пружини 8 та одним кінцем закріплюють в пазах 6 пальців 3, а другим у пазах 7 сателітів 4. Далі пальці закріплюють на водилі 2 одним із відомих способів, наприклад, нарізевим з'єднанням. Зібрану на водилі 2 ведену півмуфту встановлюють у ведучу півмуфту 1 так, що сателіти 4 з зубчастим колесом з внутрішніми зубцями утворюють внутрішнє зачеплення. Зібрана планетарна муфта закривається кришкою 9. При передачі обертального моменту від одного до другого вала через півмуфти 1 і 2, обертання буде передаватися на сателіти 4, які обертаючись навколо пальців 3, стягують пружини 8 і далі сателіти 4 не обертаються – обертального момент від ведучої півмуфти 1 передається веденій півмуфті 2 в одному напрямку. Внутрішнє зубчасте зачеплення, на протязі всього часу, дозволяє валам обертаються в одному напрямку, тобто виключає момент реверсу веденої півмуфти 2, а пружини 8 поглинають динамічні навантаження, які виникають та зменшують їх вплив на деталі привода.

Для кращого розуміння та наочності на рис. 4.11 і рис. 4.12 показані моделі описаної планетарної муфти.

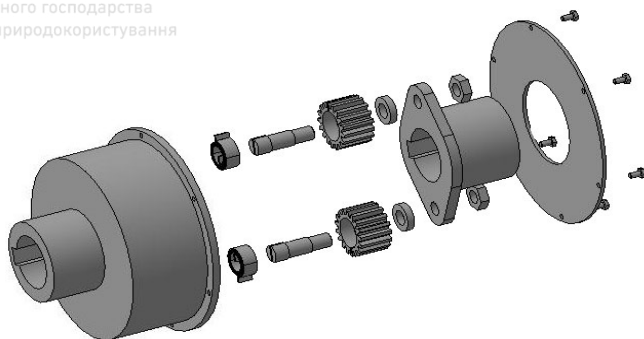


Рис. 4.11. Модель пружної планетарної муфти по-детально

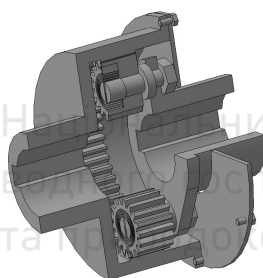


Рис. 4.12. Модель нової пружної планетарної муфти в зібраному вигляді з розрізом

Більш слабкими та основними елементами муфти є пружини у вигляді спіралей Архімеда (рис. 4.13), які виконані із тонкої високоякісної вуглецевої пружинної сталевих стрічки, яка має велику міцність і достатню пластичність. Завдяки високій гнучкості стрічки пружини здатні закручуватись на великий кут повороту валика (до декількох десятків обертів) та акумулювати (гасити) значні енергії. При виготовленні пружини стрічка навивається на валик (федеркern) так, що витки послідовно укладаються та щільно прилягають один до другого. Кінці стрічки попередньо, на невеликій ділянці, відпалюються для того, щоб забезпечити можливість їх закріплення. З метою стабілізації форми спіралі та напружень, які виникають у перерізах стрічки, останню після навивки майже не розпускають, а поміщають в обойму та



втримують в такому стані тривалий час – заневолюють на добу і більше.

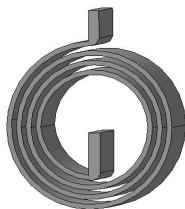


Рис. 4.13. Модель пружини виконаної у вигляді спіралі Архімеда

Якщо в процесі тривалого навантаження пружина не проявить признаков слабкості, а у стрічки не виявляться будь-які дефекти (тріщини, надриви, вм'ятини, зломи та таке інше), тоді пружина, яка приймає у вільному (розпущеному) стані форму Архімедової спіралі, вважається придатною до експлуатації.

Тут вигідно застосовувати такі елементи тому, що плоскі спіральні стрічкові пружини широко застосовуються в конструкціях різних механізмів і приладів головним чином, як акумулятори енергії з наступним використанням їх в якості двигунів.

Для даного випадку спіральні пружини планетарної муфти будуть використовуватись для гасіння значних динамічних навантажень, які виникають під час запуску машин або в інших неусталених режимах їх роботи. Тому в неробочому стані спіральні пружини будуть розпущені, а при передачі обертового моменту муфтою – будуть заведені. Валиком для нашого випадку будуть нерухомі пальці 3, а барабаном – сателіти 4 з порожнинами 5, у які встановлені спіральні пружини 8 (див. рис. 4.10).

4.3. Муфти кулькові-пружні запобіжні

Муфта запобіжна кульково-пружна [105] (рис. 4.14) складається з співвісно встановлених внутрішньої 1 та зовнішньої 2 конусних пружин, механічно закріплених, наприклад, за рахунок нагвинчування циліндричними частинами, на ведучому валу 3 і направленими більшими діаметрами в сторону веденого вала 4, на якому за допомогою шпонки 5 та шайби 6 закріплена ведена півмуфта 7 у вигляді фланця з встановленим і закріпленим на ньому



за допомогою гвинтів 8 конусного корпуса 9, у якому виконані поздовжні пази 10, у яких між витками пружин 1 і 2 розміщені кульки 11. Для запобігання випадання кульок 11 при спрацюванні муфти в режимі перевантаження на веденій півмуфті 7 встановлено кожух 12.

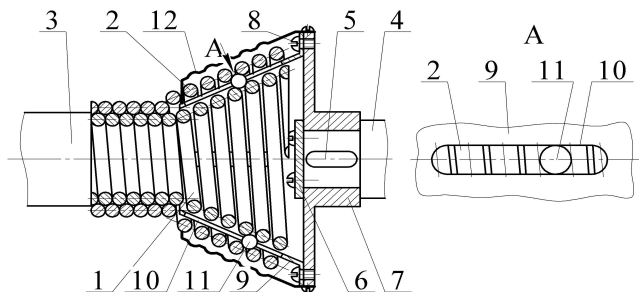


Рис. 4.14. Муфта запобіжна кульково-пружна

Муфта запобіжна кульково-пружна працює так. При обертанні ведучого вала 3, а відповідно і конусних пружин 1 і 2, номінальний обертальний момент передається через витки конусних пружин 1 і 2, кульки 11 та пази 10 корпуса 9 на ведену півмуфту 7. При цьому за рахунок деформації конусних пружин 1 і 2 компенсується не співвісність ведучого 3 та веденого 4 валів і реалізується демпфуюча та компенсуюча функції муфти при поштовхах та ударах на веденому валу 4.

В режимі перевантаження, завдяки тому, що пружність зовнішньої пружини 2 менша внутрішньої пружини 1, кульки 11, стискаючи зовнішню пружину 2 в напрямку збільшення її діаметра перескакують її витки і муфта починає пробуксовувати, реалізуючи свою запобіжну функцію.

Для зміни величини номінального обертального моменту, що передається від ведучого вала 3 на ведений вал 4, кульки 11 переставляються між витками пружин 1 і 2 в сторону зменшення або збільшення їх діаметрів в залежності від необхідності збільшення або зменшення номінального обертального моменту відповідно. В подальшому робота муфти запобіжної кульково-пружної відбувається подібно до описаної послідовності.



Муфта запобіжна кульково-пружна забезпечує передачу обертальних моментів різної величини та покращує її демпфуючі та компенсуючі характеристики за рахунок змінної жорсткості конусних пружин.

Муфта кульково-пружна запобіжна регульована [106] (рис. 4.15) складається з конусної пружини 1 закріпленої, наприклад, за рахунок нагвинчування циліндричною частиною на ведучому валу 2 та зафіксованою на ньому за допомогою шайби 3 і гвинтів 4, веденої півмуфти 5, з шарнірно закріпленими і рухомими в радіальному напрямку важелями 6, встановленої на веденому валу 7 за допомогою різьбового з'єднання 8 і зафіксованою контргайкою 9. В отворах 10 важелів 6 встановлені кульки 11, замкнені між конусною пружиною 1 та гвинтовою канавкою 12 конусної частини 13 веденого вала 7. Для запобігання випадання кульок 11 при реалізації муфтою запобіжної функції, на ведучому валу 2 встановлено кожух 14, а для регулювання муфти на необхідну величину обертального моменту на веденому валу 7 виконана шкала 15 відповідних обертальних моментів. Конусність пружини 1 та конусність частини 13 веденого вала 7 виконані однаковими. Різьба 8, навівка конусної пружини 1, і гвинтова канавка 12 виконані в одному напрямку та з однаковим кроком.

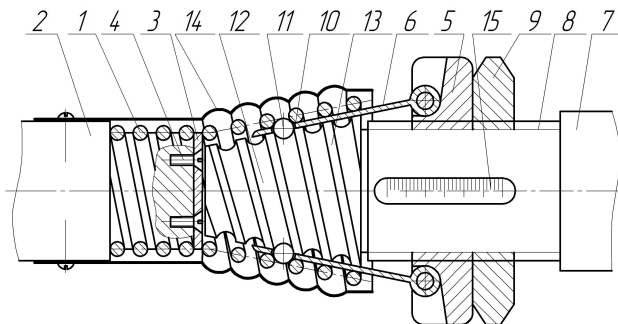


Рис. 4.15. Муфта кульково-пружна запобіжна регульована

Муфта запобіжна кульково-пружна регульована функціонує дещо подібно до попередньої. Тобто при обертанні ведучого вала 2, а відповідно і конусної пружини 1, номінальний обертальний момент передається через витки конусної пружини 1, кульки 11, важелі 6 та гвинтові канавки 12 і ведену півмуфту 5. В режимі



перевантаження кульки 11 деформують конусну пружину 1 і переміщуються в отворах 10 важелів 6, долаючи опір конусної пружини 1, перескакують через її витки в сторону кожуха 14 – муфта пробуксовує та реалізовує свою запобіжну функцію. В режимі незначного перевантаження або незначних динамічних навантажень та поштовхів муфта за рахунок деформації конусної пружини 1 реалізовує свою пружну функцію.

При регулюванні муфти для передачі з ведучого вала 2 на ведений вал 7 обертального моменту більшого або меншого значення, рухома ведена півмуфта 5 переміщується по нарізі 8 веденого вала 7 вліво або вправо відповідно, при цьому кульки 11, розміщені в отворах 10 важелів 6 переміщуються у гвинтових канавках 12 між витками конусної пружини 1 в сторону зменшення або збільшення її діаметра, тоді пружність витків конусної пружини 1 збільшується або зменшується відповідно. Після встановлення торця веденої півмуфти 5 на шкалі 15 відповідного обертального моменту виконується стопоріння веденої півмуфти 5 контргайкою 9. Муфта готова до роботи. Процес роботи муфти повторяється.

Запропонована муфта запобіжна кульково-пружна регульована забезпечує плавність регулювання номінального обертального моменту, що передається з ведучого на ведений вал. Вона здатна амортизувати поштовхи та удари за рахунок накопичення потенціальної енергії в конусній пружині та має покращену демпфуючу здатність.

4.4. З'єднання валів карданних передач

Відомі вали карданних передач складаються з двох частин з'єднаних між собою шліцами з можливістю осьового зміщення. Такі вали входять до складу карданних передач, які передають обертальні моменти між валами, осі яких перетинаються або перехрещуються, з рівномірним обертанням і можливим зміщенням їх по довжині, як це має місце при передачі обертання до задніх мостів та коліс автомобіля. Основним їх недоліком є те, що вони передають обертальний момент від одного шарніра до другого жорстко, а це негативно впливає на деталі трансмісії. Щоб зменшити недоліки існуючих валів карданних передач, розроблені нові з'єднання їх, які передають обертальний момент м'яко.



Вал карданної передачі [133] (рис. 4.16) складається із двох частин 1 і 2. Частина 1 вала карданної передачі виконана у вигляді профільної труби 3 з поперечним перерізом рівностороннього трикутника 4 з гранями 5, вершини 6 якого винесені назовні і мають, наприклад, підковоподібний обрис. З одного торця труби 3 приєднана вилка карданного шарніра 7.

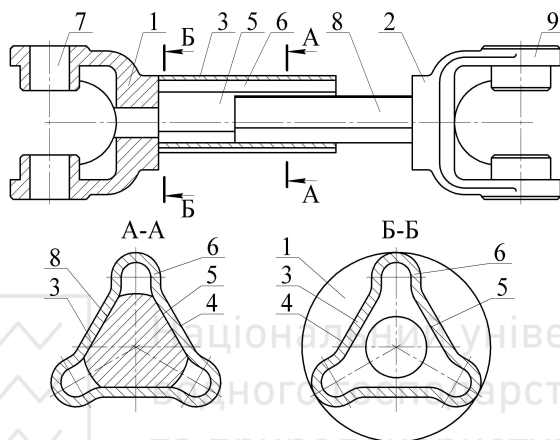


Рис. 4.16. Вал карданної передачі з трикутним профілем

На другій частині 2 з одного торця виконані лиски 8 під грані 5 рівностороннього трикутника 4 профільної труби 3 частини 1, а на другому торці приєднана вилка карданного шарніра 9. Частини 1 і 2 карданного вала з'єднані між собою профільним з'єднанням у вигляді рівностороннього трикутника.

Вал карданної передачі працює так. Обертальний момент передається через карданний шарнір на вилку 7 частини 1 у вигляді профільної труби 3, а далі через профільне з'єднання на частину 2. Збільшення обертального моменту приводить до деформації профільної труби 3 із-за розтискання граней 5 і підковоподібних вершин 6 рівностороннього трикутника. Із-за деформації профільної труби 3 обертальний момент через профільне з'єднання частин 1 і 2 передається на вилку 9 карданного шарніра і далі з деяким пом'якшенням.

Вал карданної передачі [134] (рис. 4.17) складається із двох частин 1 і 2. Частина 1 вала карданної передачі виконана у вигляді

профільної труби 3 з поперечним перерізом квадрата 4 вершини 5 якого винесені назовні і мають, наприклад, підковоподібний обрис. З одного торця труби 3 приєднана вилка карданного шарніра 6. На другій частині 2 з одного торця виконані лиски 7 під грані 8 квадрата 4 профільної труби 3 частини 1, а до другого торця приєднана вилка 9 карданного шарніра. Частини 1 і 2 карданного вала з'єднані між собою профільним з'єднанням у вигляді квадрата.

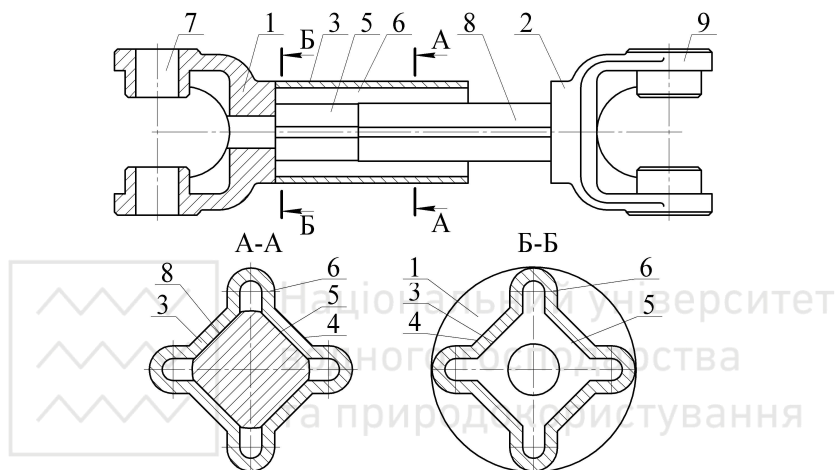


Рис. 4.17. Вал карданної передачі з квадратним профілем

Вал карданної передачі працює так. Обертальний момент передається через карданний шарнір на карданну вилку 6 частини 1 у вигляді профільної труби 3, а далі через профільне квадратне з'єднання на частину 2. Збільшення обертального моменту приводить до деформації профільної труби 3 із-за розтискання граней 8 і підковоподібних вершин 5 квадрата 4. Із-за деформації профільної труби 3 обертальний момент через профільне квадратне з'єднання частин 1 і 2 передається на вилку 9 карданного шарніра і далі м'яко, тобто безударно.

Вал карданної передачі [136] (рис. 4.18) складається із двох частин 1 і 2. Частина 1 вала карданної передачі виконана у вигляді профільної труби 3 з поперечним перерізом правильного шестикутника 4 з гранями 5, вершини 6 якого винесені назовні і мають, наприклад, підковоподібний обрис. З одного торця труби 3



приєднана вилка карданного шарніра 7. Друга частині 2 з одного торця має правильний шестигранник 8 під грані 5 правильного шестикутника 4 профільної труби 3 частини 1, а на другому торці приєднана вилка карданного шарніра 9. Частини 1 і 2 карданного вала з'єднані між собою профільним з'єднанням у вигляді шестикутника.

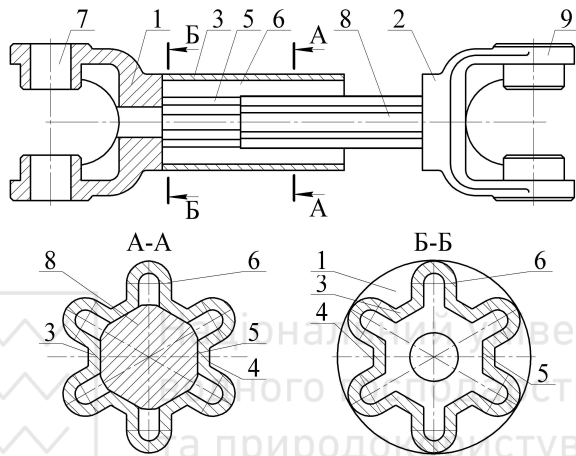


Рис. 4.18. Вал карданної передачі з шестикутним профілем

Вал карданної передачі працює так. Обертальний момент передається через карданний шарнір на вилку 7 частини 1 у вигляді профільної труби 3, а далі через профільне з'єднання на частину 2. Збільшення обертального моменту приводить до деформації профільної труби 3 із-за розтискання граней 5 і підковоподібних вершин 6 правильного шестикутника. Із-за деформації профільної труби 3 обертальний момент через профільне з'єднання частин 1 і 2 передається на вилку 9 карданного шарніра і далі з пом'якшенням.

Вал карданної передачі [135] (рис. 4.19) складається із двох частин 1 і 2. Частина 1 вала карданної передачі виконана у вигляді вилки карданного шарніра 3 і циліндричної профільної втулки-труби 4 з порожнистими виступами, наприклад, підковоподібного профілю 5, розміщених осесиметрично на її поверхні, у яку встановлена профільна втулка 6 з поперечним перерізом трикутника 7, або квадрата 8, або шестикутника 9, або іншого



водного господарства
та енергетичного машинобудування

раціонального перерізу, з вершинами 10, які винесені назовні і мають такий же підковоподібний обрис як виступи 5.

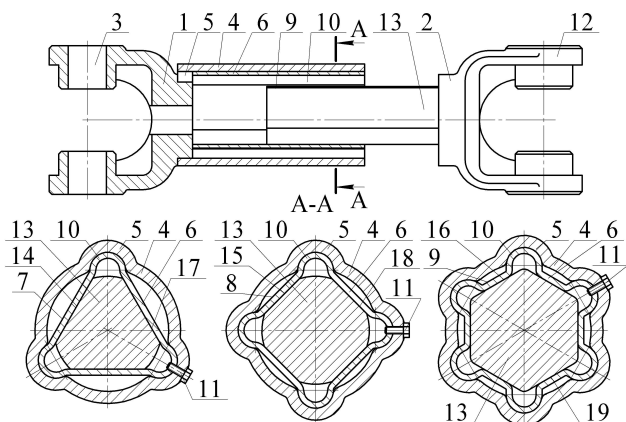


Рис. 4.19. Вал карданної передачі з профільною трубою і втулкою

Профільна втулка 6 встановлена у циліндричну профільну втулку-трубу 4 і з'єднана з нею від осевого зміщення, наприклад, гвинтами 11. Частина 2 складається з шарнірної вилки 12 і вала 13 з поперечним перерізом трикутника 14, або квадрата 15, або шестикутника 16, або іншого раціонального перерізу. Частини 1 і 2 карданного вала з'єднані між собою профільними з'єднаннями у вигляді трикутного 17, або квадратного 18, або шестикутного 19, або іншого раціонального перерізів.

Вал карданної передачі працює так. Обертальний момент передається через карданний шарнір на карданну вилку 3 частини 1, далі на циліндричну профільну втулку-трубу 4, а через підковоподібні виступи 5 і 10 на профільну втулку 6. Затим через профільне з'єднання трикутне 17, або квадратне 18, або шестикутне 19, або іншого раціонального перерізів, обертальний момент передається на вал 13 і шарнірну вилку 12 частини 2. Збільшення обертального моменту приводить до деформації профільної втулки 6 із-за розтискання граней і підковоподібних вершин 10 трикутника 7, або квадрата 8, або шестикутника 9, або іншого раціонального перерізу. Із-за деформації профільної втулки 6 обертальний момент через профільне трикутне 17, або квадратне 18, або шестикутне 19, або іншого раціонального перерізу з'єднання частин 1 і 2



передається на шарнірну вилку 12 карданного шарніра м'яко, тобто без ударно.

Вал карданної передачі [137] (рис. 4.20) складається із двох частин 1 і 2. Частина 1 вала карданної передачі виконана у вигляді вилки карданного шарніра 3 і циліндричної втулки-труби 4 у яку встановлена профільна втулка 5 з поперечним перетином трикутника 6, або квадрата 7, або шестикутника 8, або іншого раціонального перерізу, з вершинами 9, які винесені назовні і мають, наприклад, підковоподібний обрис. Профільна втулка 5 встановлена у втулку-трубу 4 з незначним натягом по вершинах 9 і з'єднана з нею відомими з'єднаннями, наприклад, зварними 10. Частина 2 складається з шарнірної вилки 11 і вала 12 з поперечним перерізом трикутника 13, або квадрата 14, або шестикутника 15, або іншого раціонального перерізу. Частини 1 і 2 карданного вала з'єднані між собою профільними з'єднаннями у вигляді трикутного 16, або квадратного 17, або шестикутного 18, або іншого раціонального перерізу.

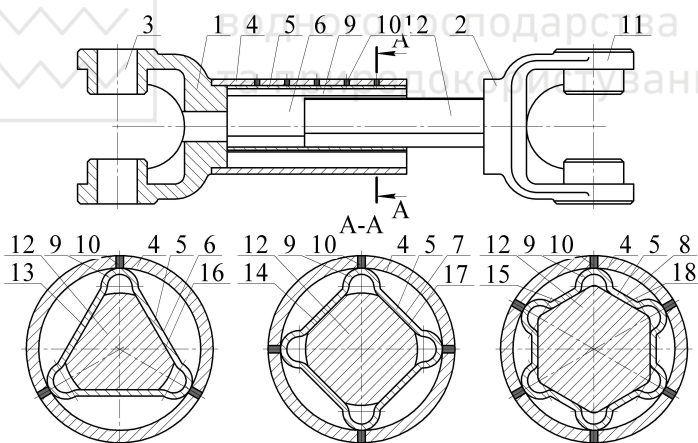


Рис. 4.20. Вал карданної передачі

Вал карданної передачі працює так. Обертальний момент передається через карданний шарнір на карданну вилку 3 частини 1, далі на циліндричну втулку-трубу 4, а через, наприклад, зварне з'єднання 10 на профільну втулку 5. Затим через профільне з'єднання трикутне 16, або квадратне 17, або шестикутне 18, або



іншого раціонального перерізу, обертальний момент передається на вал 12 і шарнірну вилку 11 частини 2. Збільшення обертального моменту приводить до деформації профільної втулки 5 із-за розтискання граней і підковоподібних вершин 9 пружних елементів трикутника 6, або квадрата 7, або шестикутника 8, або іншого раціонального перерізу. Із-за деформації профільної втулки 5 обертальний момент через профільне трикутне 16, або квадратне 17, або шестикутне 18, або іншого раціонального перерізу з'єднання частин 1 і 2 передається на шарнірну вилку 11 карданного шарніра м'яко, тобто без ударно.

Вали карданної передачі, частини якого з'єднуються через труби з профільними втулками і з'єднані профільними з'єднаннями у вигляді трикутника, квадрата, шестикутника або іншого раціонального перерізу передають обертальні моменти м'якіше.

4.5. З'єднання валів на опорі

Пружне з'єднання валів на опорі [142] (рис. 4.21) складається з вала 1, профільної втулки 2 і вала 3. З торця опорної ділянки – шипа 4 вала 1, виконаний коаксіальний осьовий циліндричний отвір 5 з трьома, чотирьома, шістьма або іншим числом поздовжніми півкруговими канавками 6, осесиметрично розміщеними на внутрішній циліндричній поверхні. Профільна втулка 2 виконана у вигляді рівностороннього трикутника 7, або квадрата 8, або шестикутника 9, або іншого раціонального перерізу з порожнистими круговими вершинами 10, з зовнішніми розмірами рівними або дуже мало більшими кругових канавок 6. Профільна втулка 2 встановлена в коаксіальний осьовий циліндричний отвір 5 з невеликим натягом порожнистих кругових вершин 10, які входять у кругові канавки 6. У профільну втулку 2 встановлений торець вала 3, що приєднується, відповідно, з профілем рівностороннього трикутника 7, або квадрата 8, або шестикутника 9, або іншого раціонального перерізу.

Пружне з'єднання валів на опорі працює так. Обертальний момент з вала 1 передається через профільну втулку 2 з профілем рівностороннього трикутника 7 (рис. 4.21, а), або квадрата 8 (рис. 4.21, б), або шестикутника 9 (рис. 4.21, в), або іншого раціонального перерізу на вал 3 або навпаки. Збільшення обертального моменту приводить до деформації профільної втулки



2 із-за розтискання її граней і порожнистих кругових вершин 10 рівностороннього трикутника 7, або квадрата 8, або шестикутника 9, або іншого раціонального перерізу. Це приводить до зменшення великих ударних динамічних навантажень. Таке пружне з'єднання валів на запропонованій опорі надійніше при експлуатації механічних приводів під час неусталених режимів їх навантаження. Тобто вони сприяють згладжуванню різкого навантаження з боку двигунів чи робочого органу.

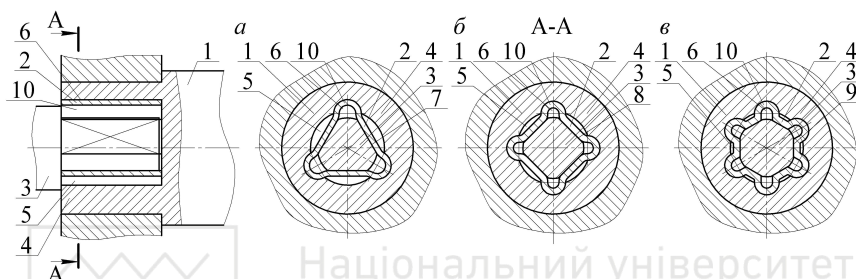


Рис. 4.21. Пружне з'єднання валів на опорі:

а, б, в – з профілем, відповідно трикутним, квадратним і шестикутним

Пружне з'єднання валів на опорі просте для виготовлення, дозволяє гасити енергію коливань динамічних навантажень при передаванні обертального моменту за допомогою профільної втулки.



5. РОЗРАХУНКИ ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МУФТ

5.1. Розрахунок профільних втулок

Для можливого використання металевих профільних втулок при з'єднанні валів виконані теоретичні статичні розрахунки. На рис. 5.1, *а* показана розрахункова схема навантаження профільної квадратної втулки. Така форма втулки є більш універсальною і методика її розрахунку може бути підґрунтям для розгляду елементів інших форм.

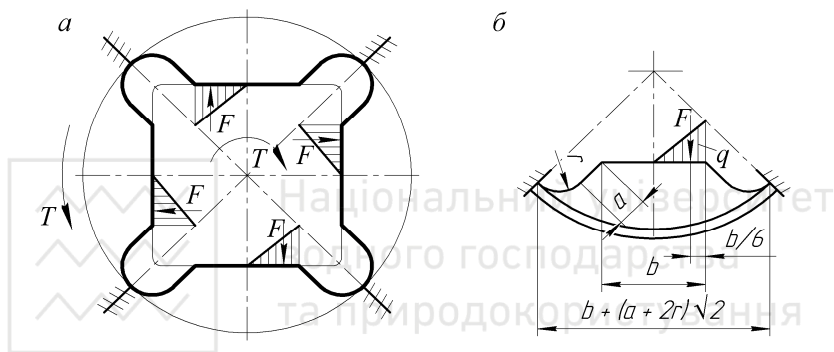


Рис. 5.1. Схема передавання обертового моменту валом

Поставлена задача розв'язується з такими допущеннями: грані профільної трикутної, або квадратної, або шестикутної, або іншого раціонального перерізу втулки деформуються однаково; навантаження, яке діє на грані профільної втулки при передаванні обертового моменту, розподіляється у вигляді трикутника, як прийнято для профільних з'єднань, та в площині профільної втулки перпендикулярній до осі обертання і постійні по довжині. Враховуючи наведені припущення, можна звести розрахункову схему до балки, що має особливу конфігурацію з защемленими кінцями, показаної на рис. 5.1, *б*. Для розв'язування задачі для цієї балки складаємо еквівалентну та основну системи (рис. 5.2) і використовуємо методику запропоновану в роботі [18].

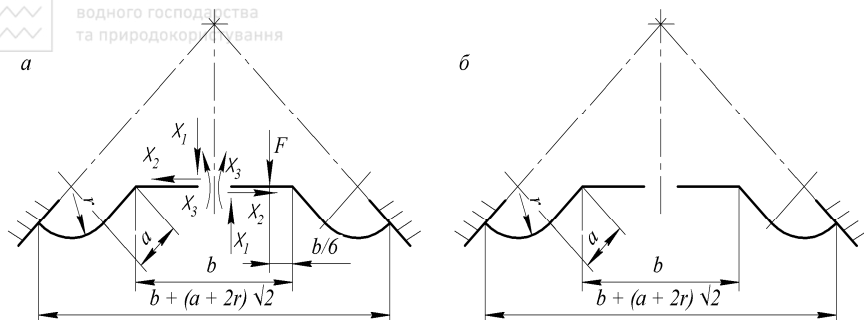


Рис. 5.2. Розрахункова схема: *a* – еквівалентна і
б – основна системи грані профільної втулки

При передаванні обертового моменту, на гранях профільної втулки діє сила

$$F = \frac{3Tk}{bz}, \quad (5.1)$$

де T – обертовий момент, який передається валом; b – ширина контакту грані в профільному з'єднанні; z – число граней профільного з'єднання; $k = 1, 3 \dots 1, 5$ – коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження по гранях, менше значення для високої точності виготовлення та пригонки.

Пружна балка особливої конфігурації з защемленими кінцями тричі статично не визначена.

Лишні зв'язки заміняємо реакціями: X_1 , X_2 , і X_3 . Ці невідомі сили визначаємо із умови рівності нулю деформацій, що виникають за їхніми напрямками дії. Тоді канонічні рівняння методу сил матимуть вигляд:

$$\begin{aligned} \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \delta_{13}X_3 + \Delta_{1F} &= 0; \\ \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \delta_{23}X_3 + \Delta_{2F} &= 0; \\ \delta_{31}X_1 + \delta_{32}X_2 + \delta_{33}X_3 + \Delta_{3F} &= 0, \end{aligned} \quad (5.2)$$

де δ_{11} , δ_{22} , δ_{33} – деформації, відповідно за напрямками сил X_1 , X_2 і X_3 , викликані відповідно силами $X_1=1$, $X_2=1$ і $X_3=1$; δ_{12} – деформація за напрямком сили X_1 від сили $X_2=1$; δ_{13} – деформація за напрямком сили X_1 від сили $X_3=1$; δ_{21} і δ_{23} – деформації за напрямком сили X_2 від сил, відповідно $X_1=1$ і $X_3=1$; δ_{31} і δ_{32} – деформації за напрямком сили X_3 від сил,



відповідно $X_1=1$ і $X_2=1$; Δ_{1F} , Δ_{2F} і Δ_{3F} – деформації, відповідно за напрямками сил X_1 , X_2 і X_3 , при дії на основну систему зовнішнього навантаження F .

Основна система отримується із еквівалентної системи після звільнення її від зовнішнього навантаження F і невідомих сил X_1 , X_2 і X_3 , які заміняють дію лишніх зв'язків. Основна система показана на рис. 5.2, б.

Деформації δ_{11} , δ_{12} , δ_{13} , δ_{21} , δ_{22} , δ_{23} , δ_{31} , δ_{32} , δ_{33} , δ_{1F} , δ_{2F} і δ_{3F} визначаються за допомогою інтегралів Мора і в частинних випадках способом Верещагіна із наступних виразів:

$$\begin{aligned}\delta_{11} &= \sum \int_0^S \frac{M_1^2 ds}{EJ}; \quad \delta_{22} = \sum \int_0^S \frac{M_2^2 ds}{EJ}; \quad \delta_{33} = \sum \int_0^S \frac{M_3^2 ds}{EJ}; \\ \delta_{12} &= \sum \int_0^S \frac{M_1 M_2 ds}{EJ}; \quad \delta_{13} = \sum \int_0^S \frac{M_1 M_3 ds}{EJ}; \quad \delta_{21} = \sum \int_0^S \frac{M_2 M_1 ds}{EJ}; \\ \delta_{23} &= \sum \int_0^S \frac{M_2 M_3 ds}{EJ}; \quad \delta_{31} = \sum \int_0^S \frac{M_3 M_1 ds}{EJ}; \quad \delta_{32} = \sum \int_0^S \frac{M_3 M_2 ds}{EJ}; \quad (5.3) \\ \Delta_{1F} &= \sum \int_0^S \frac{M_1 M_F ds}{EJ}; \quad \Delta_{2F} = \sum \int_0^S \frac{M_2 M_F ds}{EJ}; \quad \Delta_{3F} = \sum \int_0^S \frac{M_3 M_F ds}{EJ},\end{aligned}$$

де E – модуль пружності першого роду для матеріалу профільної втулки; $J = \delta^3 l^3 / 12$ – осьовий момент інерції перерізу, де δ – товщина, а l – довжина профільної втулки; M_1 , M_2 , M_3 і M_F – згинаючі моменти, відповідно, від сил X_1 , X_2 , X_3 і F .

Для визначення згинаючих моментів M_1 , M_2 , M_3 і M_F , відповідно, від сил X_1 , X_2 , X_3 і F та побудови їх епюр, застосуємо схему показану на рис. 4, де x_i і y_i – поточні значення пліч дії сил, відповідно, X_1 , X_2 , X_3 і F .

Використовуючи схему (рис. 5.3) і значення $X_1=1$, $X_2=1$, $X_3=1$ і F , отримаємо для визначення згинаючих моментів у защемленні наступні аналітичні вирази:

$$\begin{aligned}M_1 &= 0,5b + 0,7a + 1,4r; \quad M_2 = 0,7a + 0,3r; \quad M_3 = 1 \text{ і} \\ M_F &= F_1(0,167b + 0,7a + 1,4r). \quad (5.4)\end{aligned}$$

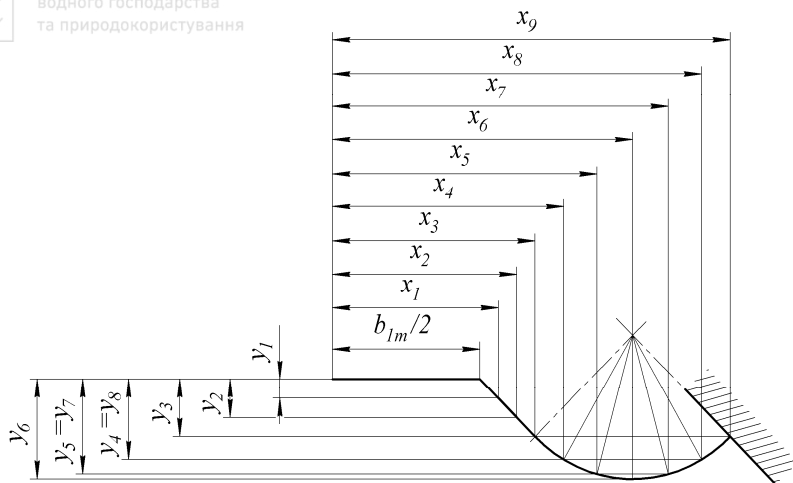


Рис. 5.3. Схема до розрахунку згинаючих моментів

Далі використовуємо (5.4) і рис. 5.3 будуємо епюри M_1 , M_2 , M_3 і M_F – згинаючих моментів, відповідно від сил X_1 , X_2 , X_3 і F , показаних на рис. 5.4.

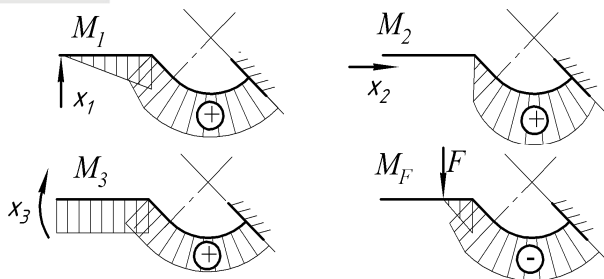


Рис. 5.4. Епюри згинаючих моментів M_1 , M_2 , M_3 і M_F , відповідно від сил X_1 , X_2 , X_3 і F

Використовуємо епюри згинаючих моментів (див. рис. 5.4) і формулу Сімпсона, отримаємо такі значення для деформацій:

$$\delta_{11} = \frac{1}{EJ} \{0,83b^3 + 0,167a(1,5b^2 + 2,1ba + a^2) + 0,26r[3(b + 1,4a)^2 + 2,8(b + 1,4a)r + 2,5r^2]\} \quad (5.5)$$



$$\delta_{12} = \delta_{21} = \frac{1}{EJ} [0,167a(a^2 + 1,05ba) + 0,26r(1,5a^2 + 2,1ba + 0,6br + 1,42ar + 0,84r^2)] ; \quad (5.6)$$

$$\delta_{13} = \delta_{31} = \frac{1}{EJ} [0,125b^2 + 0,25a(b + 1,4a) + 0,26r(2,5b + 3,5a + 2,8r)] ; \quad (5.7)$$

$$\delta_{22} = \frac{1}{EJ} [(0,167a^3 + 0,26r(3a^2 + 1,6ar + 0,1r^2))] ; \quad (5.8)$$

$$\delta_{23} = \delta_{32} = \frac{1}{EJ} [0,35a^2 + 0,26r(4,2a + 1,2r)] ; \quad (5.9)$$

$$\delta_{33} = \frac{1}{EJ} (0,5b + a + 1,57r) ; \quad (5.10)$$

$$\Delta_{1F} = -\frac{F}{EJ} [0,006b^3 + 0,167a(0,5b^2 + 2ba + a^2) + 0,26r(0,5b^2 + 2,8ba + 2,75a^2 + 2,8br + 6ar + 4r^2)] ; \quad (5.11)$$

$$\Delta_{2F} = -\frac{F}{EJ} [0,167a(a^2 + 0,35ba) + 0,26r(0,33b^2 + 2ba + 3a^2 + 0,8br + 2,52ar + 0,36r^2)] ; \quad (5.12)$$

$$\Delta_{3F} = -\frac{F}{EJ} [0,014b^2 + 0,167a(b + 2a) + 0,26r(0,26b + 3,5a + 1,2r)] . \quad (5.13)$$

Розв'язком системи канонічних однорідних рівнянь (5.2), за допомогою визначників (формул Крамера), знаходимо невідомі X_1 , X_2 і X_3 .

$$X_1 = \frac{D_{X1}}{D} ; \quad X_2 = \frac{D_{X2}}{D} ; \quad X_3 = \frac{D_{X3}}{D} , \quad (5.14)$$

де D – визначник системи рівнянь; D_{X1} , D_{X2} і D_{X3} – визначники системи рівнянь відповідно для невідомих X_1 , X_2 і X_3 .

Визначники системи рівнянь знаходяться за «правилом Саррюса» таким чином:



$$D = \delta_{11}\delta_{22}\delta_{33} + \delta_{12}\delta_{23}\delta_{31} + \delta_{13}\delta_{21}\delta_{32} - \delta_{13}\delta_{22}\delta_{31} - \delta_{11}\delta_{23}\delta_{32} - \delta_{12}\delta_{21}\delta_{33}; \quad (5.15)$$

$$D_{X1} = (-\Delta_{1F})\delta_{22}\delta_{33} + \delta_{12}\delta_{23}(-\Delta_{3F}) + \delta_{13}(-\Delta_{2F})\delta_{32} - \delta_{13}\delta_{22}(-\Delta_{3F}) - (-\Delta_{1F})\delta_{22}\delta_{32} - \delta_{12}(-\Delta_{2F})\delta_{33}; \quad (5.16)$$

$$D_{X2} = \delta_{11}(-\Delta_{2F})\delta_{33} + (-\Delta_{1F})\delta_{23}\delta_{31} + \delta_{13}\delta_{21}(-\Delta_{3F}) - \delta_{13}(-\Delta_{2F})\delta_{31} - \delta_{11}(-\Delta_{3F})\delta_{23} - (-\Delta_{1F})\delta_{21}\delta_{33}; \quad (5.17)$$

$$D_{X3} = \delta_{11}\delta_{22}(-\Delta_{3F}) + \delta_{12}(-\Delta_{2F})\delta_{31} + (-\Delta_{1F})\delta_{21}\delta_{32} - (-\Delta_{1F})\delta_{22}\delta_{31} - \delta_{11}(-\Delta_{2F})\delta_{32} - \delta_{12}\delta_{21}(-\Delta_{3F}). \quad (5.18)$$

Сумарний згинаючий момент у точці дії сили F визначається

$$M_{F\Sigma} = M_F + X_1M_1 + X_2M_2 + X_3M_3. \quad (5.19)$$

Для визначення деформації δ_F використовуємо спосіб Мора і формулу Сімпсона. До основної системи (див. рис. 5.2, б) у напрямку деформації δ_F прикладаємо одиничну силу ($X=1$) і від неї будуємо епюру згинаючого моменту $M_4 = 0,167b + 0,7a + 1,4r$, показану на рис. 5.5.

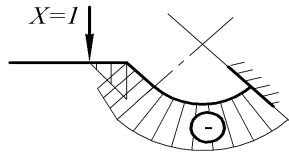


Рис. 5.5. Епюра згинаючого моменту M_4 , від сили X

Далі використовуємо значення моментів $M_{F\Sigma}$ і M_4 , отримуємо:

$$\delta_F = \frac{1}{EJ} [F(0,167b + 0,7a + 1,4r) + X_1(0,5b + 0,7a + 1,4r) + X_2(0,7a + 0,3r) + X_3](0,167b + 0,7a + 1,4r). \quad (5.20)$$



При практичному обчисленні сумарного згинаючого моменту $M_{F\Sigma}$ і деформації δ_F корисно застосувати ПЕОМ. Далі, знаючи згинаючий момент $M_{F\Sigma}$ або деформацію δ_F , класичними методами можна визначити напруження для небезпечного перерізу та оцінити міцність профільної втулки.

5.2. Розрахунок підковоподібних пружин

З метою можливості використання запропонованих пружних муфт виконані теоретичні розрахунки підковоподібних пружин як слабших їхніх елементів

Колове навантаження F_t , (рис. 5.6), яке діє на одну пару підковоподібних пружин при передачі розрахункового обертального моменту T_p визначається за класичною формулою

$$F_t = \frac{2T_p}{zD}, \quad (5.21)$$

де z – число пар підковоподібних пружин; D – діаметр кола розміщення підковоподібних пружин (див. рис. 1.12).

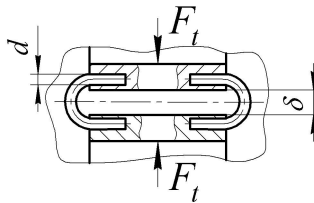


Рис. 5.6. Схема взаємодії кулачків і підковоподібних пружин при передаванні обертального моменту

Для розв'язування поставленої задачі прийняті наступні допущення: до вибору зазору δ кулачки не деформуються і переміщуються паралельно, так як розміри їх поперечного перерізу значно більші розмірів підковоподібних пружин; навантаження F_t прикладене на поздовжній середині кулачків (рис. 5.6); статичні і динамічні процеси не залежать від довжини кулачків.

Так як пара пружин являє собою симетричну конструкцію, тоді достатньо розрахувати одну підковоподібну пружину. На початку розробляємо розрахункову схему таку, яка показана на



рис. 4, де навантаження $F = F_t / 2$ (див. рис. 5.7), а δ_B і δ_Γ переміщення, відповідно вертикальне (поперечне) і горизонтальне (поздовжнє). Така задача є статично визначеною [18].

Для визначення переміщень δ_B і δ_Γ використаємо інтеграли Мора:

$$\delta_B = \int_0^S \frac{M_F \cdot M_1 \cdot ds}{E \cdot J}; \quad \delta_\Gamma = \int_0^S \frac{M_F \cdot M_2 \cdot ds}{E \cdot J}, \quad (5.22)$$

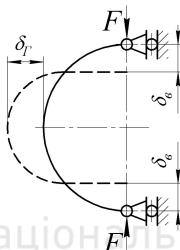


Рис. 5.7. Розрахункова схема підковоподібної пружини

де E – модуль пружності першого роду для матеріалу підковоподібної пружини; $J = \pi d^4 / 64$ – осьовий момент інерції перерізу підковоподібної пружини діаметром d ; M_1 , M_2 , і M_F – згинаючі моменти взяті із епюр згинаючих моментів, відповідно від сил $x_1 = 1$, $x_2 = 1$ і F , що показані на рис. 5.8; S – шлях інтегрування, $dS = \rho \cdot d\varphi$; ρ – радіус кривини пружини; φ – поточне значення кута.

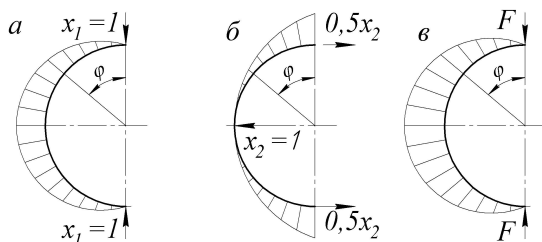


Рис. 5.8. Епюри згинаючих моментів:

a – від сил $x_1 = 1$; b – від сил $x_2 = 1$; v – від сил F



Аналітичні вирази згинаючих моментів від сил x_1 , x_2 і F мають вигляд:

$$M_1 = \rho \cdot \sin \varphi; M_1 = 0,5 \cdot \rho \cdot \cos \varphi; M_F = F \cdot \rho \cdot \sin \varphi. \quad (5.23)$$

Підставимо значення (5.23) у вирази (5.22) після нескладних перетворень отримаємо переміщення

$$\delta_B = 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{F \cdot \rho^3 \cdot \sin^2 \varphi \cdot d\varphi}{E \cdot J} = \frac{\pi \cdot F \cdot \rho^3}{2 \cdot E \cdot J}; \quad (5.24)$$

$$\delta_\Gamma = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{F \cdot \rho^3 \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi \cdot d\varphi}{E \cdot J} = \frac{F \cdot \rho^3}{2 \cdot E \cdot J}. \quad (5.25)$$

Для виконання практичних розрахунків у вирази (5.24) і (5.25) підставимо значення F , ρ і J , отримаємо

$$\delta_B = \frac{64 \cdot T_K \cdot \rho^3}{z \cdot D \cdot d^4 \cdot E}; \quad (5.26)$$

$$\delta_\Gamma = \frac{64 \cdot T_K \cdot \rho^3}{\pi \cdot z \cdot D \cdot d^4 \cdot E}. \quad (5.27)$$

Із виразів (5.26) і (5.27) можна визначити величину максимального обертового моменту, який може передати муфта, при умові закриття зазору між поздовжніми кулачками, тобто коли переміщення набуває значення – δ_{\max}

$$T_k = \frac{D \cdot d^4 \cdot \delta_{\text{бфч}} \cdot E}{64 \cdot \rho^3}. \quad (5.28)$$

Далі розглянутий напружений стан підковоподібних пружин з защемленими кінцями у кулачках, при передачі ними обертового моменту. На рис. 5.9 показані схеми установки підковоподібних пружин: конструктивна на рис. 5.9, а, а розрахункова – на рис. 5.9, б.

Кулачки з підковоподібними пружинами з защемленими кінцями пружної муфти можна подати, як плоску раму, з одним замкнутим контуром. Згідно [18] степінь статичної невизначеності



H такої рами визначається за формулою (5.29)

$$H = L + 3K - III, \quad (5.29)$$

де L – число лишніх зовнішніх зв'язків; K – число замкнутих контурів; III – число простих шарнірів. Тут $L = 0$; $K = 1$; $III = 0$. Тоді за виразом (5.29) маємо $H = 3$.

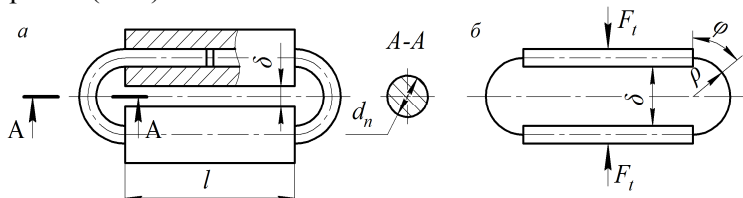


Рис. 5.9. Схеми установки підковоподібних пружин:

a – конструктивна; b – розрахункова

Для вивчення напруженого стану підковоподібних пружин спочатку складаємо еквівалентну та основну системи. Для складання еквівалентної системи, в місці вертикальної осі, яка є віссю симетрії, виконаємо розріз, тобто виявляємо зайві зв'язки, при відкиданні яких рама залишається незмінною і статично визначеною. Еквівалентна система показана на рис. 5.10.

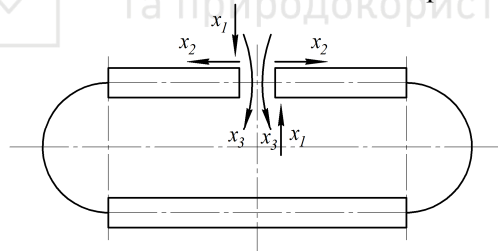


Рис. 5.10. Еквівалентна розрахункова схема

Зайві зв'язки приймаємо за невідомі величинами: x_1 , x_2 і x_3 . Така рама деформується тотожно конструкції, що розглядається. Невідомі сили в еквівалентній системі визначаємо із умови рівності нулю переміщень напрямками x_1 , x_2 і x_3 . Для цього складаємо канонічні рівняння методу сил, як показано у виразі (5.2).

Основна система отримується із еквівалентної схеми після звільнення її від зовнішнього навантаження F і невідомих сил x_1 , x_2 і x_3 , які заміняють дію лишніх зв'язків. Основна система показана на рис. 5.11.



Переміщення $\delta_{11}, \delta_{12}, \delta_{13}, \delta_{21}, \delta_{22}, \delta_{23}, \delta_{31}, \delta_{32}, \delta_{33}, \delta_{1F}, \delta_{2F}$ і δ_{3F} визначаються за допомогою інтегралів Мора наведених у (5.3), де E – модуль пружності першого роду для матеріалу пружин; J – осьовий момент інерції перерізу (див. рис. 5.9, $A-A$), рівний $J = \pi \cdot d_n^4 / 64$; M_1, M_2, M_3 і M_F – згинаючі моменти, відповідно від сил x_1, x_2, x_3 і F .

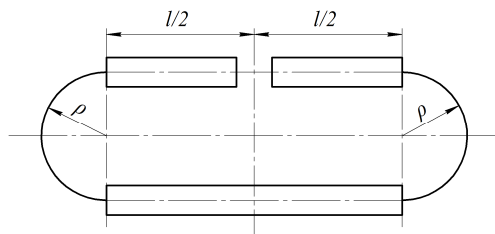


Рис. 5.11. Основна система

Із аналізу підінтегральних значень моментів виразів (5.4), де перемножуються симетричні епюри на кососиметричні, маємо: $\delta_{12}=\delta_{21}=0$; $\delta_{13}=\delta_{31}=0$; $\delta_{23}=\delta_{32}=0$; $\delta_{1F}=0$, і $\delta_{2F}=0$. Таким чином система канонічних рівнянь (5.2) зводиться до рівняння

$$\delta_{33}x_3 + \delta_{3F} = 0. \quad (5.30)$$

Переміщення δ_{33} і δ_{3F} у рівнянні (5.30) визначаємо за допомогою (5.3), взявши M_3 і M_F – згинаючі моменти із епюр, відповідно від сил x_3 і F , показаних на рис. 5.12 ($M_3 = 1$ і $M_F = F\rho \sin \varphi$).

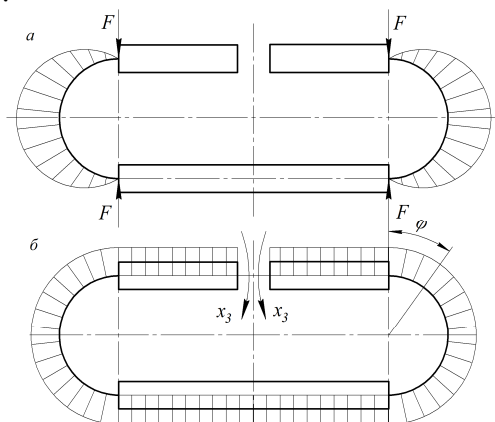


Рис. 5.12. Епюри згинаючих моментів M_3 і M_F



Розв'язавши (5.3) отримаємо, що:

$$\delta_{33} = \frac{2}{E \cdot J} (l + \pi \rho); \quad \delta_{3F} = \frac{4F\rho^2}{EJ}. \quad (5.31)$$

Якщо в (5.30) підставити значення (5.31), дістанемо

$$x_3 = -\frac{2F\rho}{\Delta + \pi}, \quad (5.32)$$

де $\Delta = l / \rho$.

Тепер визначаємо сумарний згинаючий момент за формулою

$$M_{F\Sigma} = M_F + x_3 M_3 \quad (5.33)$$

З урахуванням $M_3 = 1$ і $M_F = F\rho \sin \varphi$ отримаємо

$$M_{F\Sigma} = F\rho \left(\sin \varphi - \frac{2}{\Delta + \pi} \right). \quad (5.34)$$

Значення шуканих величин моментів згину:

перетин I – для $s=0$ і $\varphi=0$, $M_{F\Sigma} = -\frac{2F\rho}{\Delta + \pi}$;

перетин II – для $s = \frac{l}{2}$ і $\varphi=0$, $M_{F\Sigma} = -\frac{2F\rho}{\Delta + \pi}$;

перетин III – для $\varphi = \frac{\pi}{2}$, $M_{F\Sigma} = F\rho \left(1 - \frac{2}{\Delta + \pi} \right)$.

За отриманими даними будуємо епюру сумарного моменту згину (рис. 5.13).

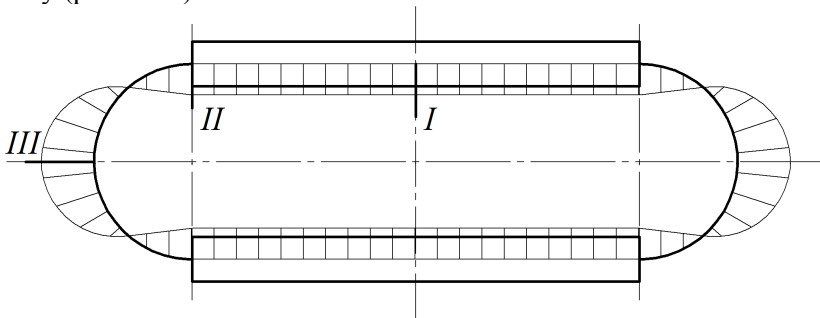


Рис. 5.13. Епюра сумарного моменту згину $M_{F\Sigma}$

Для визначення переміщень δ_{IF} , δ_{IIF} і δ_{IIIF} в характерних перерізах, відповідно I, II і III використовуємо наведену вище основну систему і застосовуємо спосіб Мора. Із рис. 5.13 є



очевидним те, що перетин I буде переміщатися як і перетин II. Тепер у напрямку переміщень δ_{IIF} і δ_{IIIF} прикладаємо одиничні сили $x=1$ і від них будемо епюри згинаючих моментів $M_{II} = \rho \sin \varphi$ і $M_{III} = \rho(1 - \cos \varphi)$. Їхні значення будуть такі, що показані на рис. 5.14.

Значення переміщень відповідних перерізів можна описати вирізами (5.35) і (5.36), тобто:

$$\delta_{II} = \int_0^S \frac{M_{F\Sigma} M_{II} ds}{EJ}; \quad \delta_{III} = \int_0^S \frac{M_{F\Sigma} M_{III} ds}{EJ}. \quad (5.35)$$

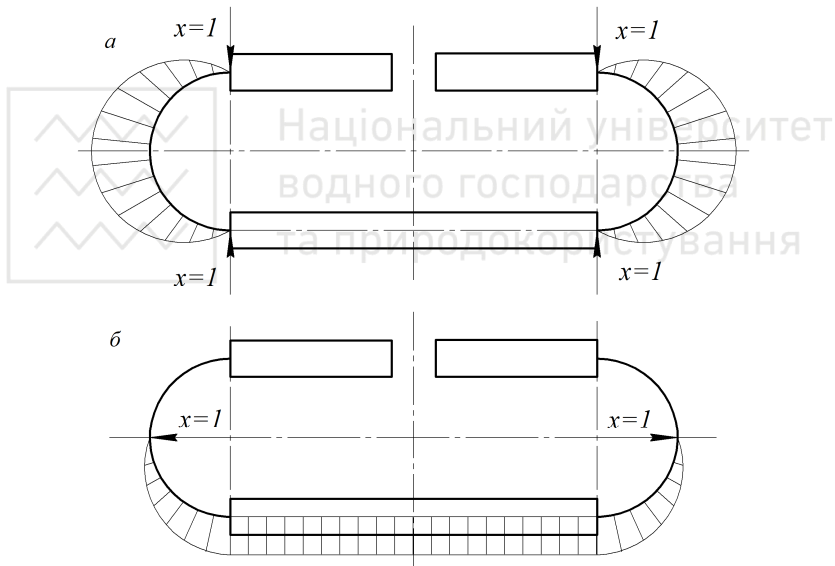


Рис. 5.14. Епюри моментів згину M_{II} і M_{III}

Якщо підставити значення $M_{F\Sigma}$, M_{II} і M_{III} в (5.35), отримаємо:

$$\delta_{II} = \frac{F\rho^3}{EJ} \cdot \frac{\pi(\Delta + \pi) - 8}{\Delta + \pi}; \quad \delta_{III} = \frac{F\rho^3}{EJ} \cdot \frac{(\Delta + \pi) - 2(\pi - 2)}{\Delta + \pi}. \quad (5.36)$$



Епюра переміщень показана на рис. 5.15.

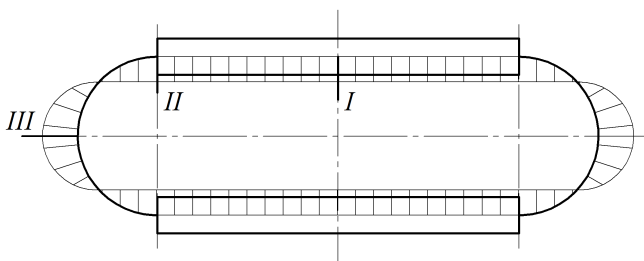


Рис. 5.15. Епюра переміщень

Для виконання практичних розрахунків вирази (5.34) і (5.36) подамо у вигляді:

$$M_{III\Sigma} = -\frac{T_K(b-b_1)}{d}a_1; \quad M_{III\Sigma} = \frac{T_K(b-b_1)}{d}a_2; \quad (5.37)$$

$$\delta_{II} = \frac{T_K(b-b_1)^3}{dhb_1^3E}a_3; \quad \delta_{III} = \frac{T_K(b-b_1)^3}{dhb_1^3E}a_4, \quad (5.38)$$

де

$$a_1 = \frac{1}{\Delta + \pi}; \quad a_2 = \frac{\Delta + \pi - 2}{2(\Delta + \pi)}; \quad a_3 = \frac{3[\pi(\Delta + \pi) - 8]}{2(\Delta + \pi)};$$

$$a_4 = \frac{3[\pi(\Delta + \pi) - 2(\pi - 2)]}{2(\Delta + \pi)}.$$

Значення коефіцієнтів a_1 , a_2 , a_3 , і a_4 для $\Delta = 0 \dots 10$ визначені за допомогою ПЕОМ і зведені в табл. 5.1.

Використовуючи вирази (5.37) та значення табл. 5.1, можна визначити моменти згину і переміщення для підковоподібних пружин з защемленими кінцями в залежності від обертового моменту, що передається, та розмірів і при цьому за відомими методиками визначити напруження.



Таблиця 5. 1

Значення коефіцієнтів a_1, a_2, a_3 , і a_4

Δ	a_1	a_2	a_3	a_4	Δ	a_1	a_2	a_3	a_4
0,0	0,3	0,2	0,9	0,4	5,5	0,1	0,4	3,3	1,1
0,5	0,3	0,2	1,4	0,6	6,0	0,1	0,4	3,5	1,1
1,0	0,2	0,3	1,8	0,7	6,5	0,1	0,4	3,5	1,2
1,5	0,2	0,3	2,1	0,8	7,0	0,1	0,4	3,6	1,2
2,0	0,2	0,3	2,4	0,8	7,5	0,1	0,4	3,6	1,2
2,5	0,2	0,3	2,6	0,9	8,0	0,1	0,4	3,6	1,2
3,0	0,2	0,3	2,8	0,9	8,5	0,1	0,4	3,7	1,2
3,5	0,2	0,3	2,9	1,0	9,0	0,1	0,4	3,7	1,2
4,0	0,1	0,4	3,0	1,0	9,5	0,1	0,4	3,8	1,2
4,5	0,1	0,4	3,1	1,1	10,0	0,1	0,4	3,8	1,2
5,0	0,1	0,4	3,2	1,1					

5.3. Розрахунок зіркоподібних пружин

Поставлена задача розв'язана з такими допущеннями:

- бічні поверхні виступів зіркоподібних пружин деформуються однаково відносно осі симетрії;
- навантаження, яке діє на виступи, лежить на лінії симетрії і в площині зіркоподібної пружини перпендикулярній до осі обертання, рівне

$$F = \frac{2T_p}{Dzf}, \quad (5.39)$$

де T_p – розрахунковий обертальний момент, який передається муфтою; D – зовнішній діаметр зіркоподібної пружини; z – число виступів зіркоподібної пружини; f – коефіцієнт тертя. Вісь зігнутого виступу наближений до квадратної параболи у вигляді $y = ax^2$. Достатньо розглянути один виступ тому, що інші деформуються однаково. Більше того, у зв'язку з тим, що метод аналітичного інтегрування є достатньо трудомістким і непридатний для намагання отримати аналітичний розв'язок, використаємо метод чисельного інтегрування для розв'язування даної задачі, методом сил. При цьому використовуємо відомий метод [18].

Розрахункова схема виступу зіркоподібної пружини показана на рис. 5.16:

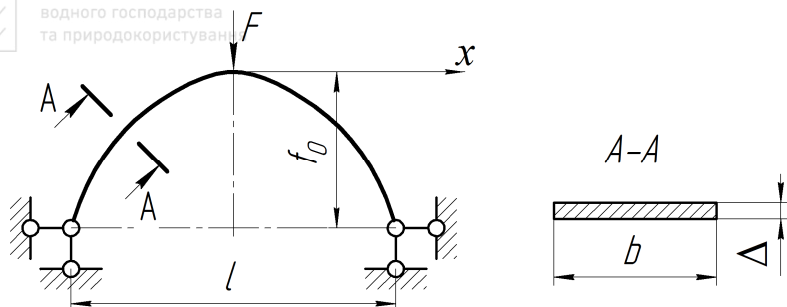


Рис. 5.16. Розрахункова схема виступу зіркоподібної пружини

На рис. 5.16 наведено такі параметри: F – зосереджена сила; f_0 – стріла підйому параболи; l – віддаль між опорами; x – вісь абсцис, початок в точці прикладання сили F ; b і Δ – відповідно ширина і товщина поперечного перерізу пружини, яку можна подати як плоску арку з одним замкненим контуром, що деформується тотожно пружному виступу. Згідно із [18] ступінь статичної невизначеності такої двохшарнірної арки дорівнює одиниці.

Основна система методу сил показана рис. 5.17: X – невідома сила у відкинутій в'язі; x – поточна координата на осі x ; $\varphi(x)$ – поточний кут нахилу осі квадратної параболи.

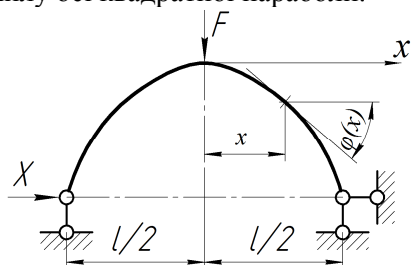


Рис. 5.17. Основна система виступу зіркоподібної пружини

Рівняння осі параболи матиме вигляд

$$f = f(x) = f_0 \left(1 - \frac{4x^2}{l^2}\right). \quad (5.40)$$

Моменти M_1 від сили $X=1$ рівні (рис 5.18, а):



$$M_1 = -1 \cdot f(x) = -f_0 \left(1 - \frac{4x^2}{l^2}\right). \quad (5.41)$$

Моменти M_F від зосередженої сили F у правій половині пружини будуть визначатись за формулою:

$$M_F = \frac{Fl}{4} \left(1 - \frac{2x}{l}\right). \quad (5.42)$$

В силу симетрії такі ж моменти будуть і в лівій половині арки (рис 5.18, б).

Для визначення переміщень по напрямку невідомої сили використаємо вирази

$$\delta_{11} = \int_S \frac{M_1^2}{EJ} ds \quad \text{і} \quad \delta_{1F} = \int_S \frac{M_1 M_F}{EJ} ds, \quad (5.43)$$

де EJ – жорсткість поперечного перерізу пружини при згині: E – модуль пружності першого роду для матеріалу пружини; J – осьовий момент інерції перерізу пружини (рис. 5.16, А-А), рівний $J = b\Delta^3 / 12$.

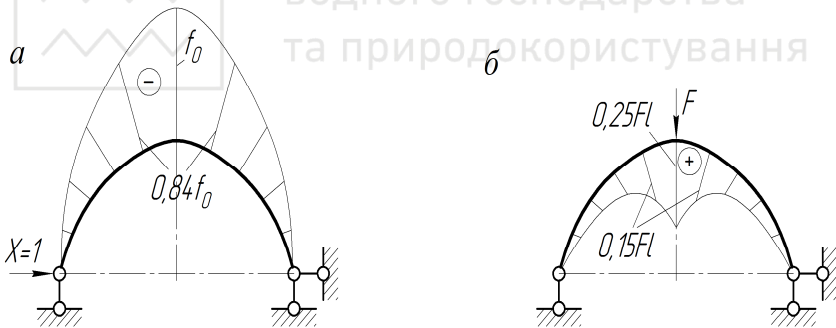


Рис. 5.18. Епюри моментів згину:

а – M_1 від сили $X=1$; б – M_F від сили F

Замінімо інтегрування по довжині осі параболу S інтегруванням по прольоту l . Врахуємо, що $ds = dx / \cos \varphi$.

$$\delta_{11} = \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} \frac{M_1^2}{EJ} \frac{dx}{\cos \varphi} \quad \text{і} \quad \delta_{1F} = \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} \frac{M_1 M_F}{EJ} \frac{dx}{\cos \varphi}. \quad (5.44)$$



$$\text{Визначаємо } \frac{1}{\cos \varphi} = \sqrt{1 + tg^2 \varphi} = \sqrt{1 + (f')^2}, \quad (5.45)$$

де $f' = -\frac{8f_0x}{l^2}$ – похідна по x від виразу прогину пружини.

Приймаємо $\frac{f_0}{l} = \frac{1}{4}$, із (5.45) матимемо

$$\frac{1}{\cos \varphi} = \sqrt{1 + \frac{4x^2}{l^2}}. \quad (5.46)$$

Аналітичне інтегрування з цього моменту для загального співвідношення $\frac{f_0}{l}$ дає менш точні результати, тому задачу раціональніше розв'язувати чисельним методом.

Чисельне інтегрування виконаємо за формулою Сімпсона

$$\int_a^b y dx = \frac{b-a}{3n} (y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + \dots + 2y_{n-2} + 4y_{n-1} + y_n) \quad (5.47)$$

і, враховуючи симетрію виступу пружини, тільки по половині її прольоту l . Результати чисельного інтегрування зводимо в табл. 5.2. Відтак значення переміщень записуються так:

$$\delta_{11} = 2 \frac{f_0^2}{EJ} \frac{l}{3 \cdot 10} 8,539 = 0,569 \frac{f_0^2 l}{EJ} = 0,03558 \frac{l^3}{EJ}; \quad (5.48)$$

$$\delta_{1F} = -2 \frac{f_0 Fl}{EJ} \frac{l}{3 \cdot 10} 1,676 = -0,1117 \frac{F f_0 l^2}{EJ} = -0,02793 \frac{Fl^3}{EJ}. \quad (5.49)$$

Канонічне рівняння методу сил

$$X \delta_{11} + \delta_{1F} = 0, \quad (5.50)$$

звідки

$$X = -\frac{\delta_{1F}}{\delta_{11}} = -\frac{-0,02793 \frac{Fl^3}{EJ}}{0,3558 \frac{l^3}{EJ}} = 0,785 F. \quad (5.51)$$



Результати чисельного інтегрування

$\frac{x}{l}$	$-\frac{M_1}{f_0}$	$\frac{1}{\cos \varphi}$	$\frac{M_1^2}{f_0} \frac{1}{\cos \varphi}$	Множ- ники	$\frac{M_F}{Fl}$	$\frac{M_1 M_F}{f_0 Fl} \frac{1}{\cos \varphi}$	Множ- ники
0	1	1	1	2	0,250	0,2500	2
0,1	0,96	1,0198	0,9398	2	0,200	0,1958	2
0,2	0,84	1,0770	0,7599	4	0,150	0,1357	4
0,3	0,64	1,1662	0,477	2	0,100	0,0746	2
0,4	0,36	1,2806	0,1660	4	0,050	0,0231	4
0,5	0	1,4142	0	1	0	0	1
				8,539			1,676

Повні моменти згину у виступі пружини від дії сили F рівні

$$M = M_F + XM_1. \quad (5.52)$$

Кінцева епюра моменти згину в загальному вигляді показана на рис. 5.19.

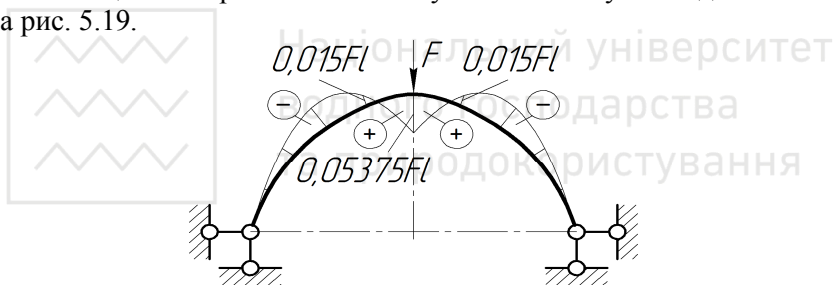


Рис. 5.19. Кінцева епюра згинальних моментів

В залежності від прольоту l та стріли підйому f_0 виступу пружини, а також від заданої точності розрахунку, симетрична половина $l/2$ розбивається на те чи інше число ділянок і визначаються моменти згину в будь-якій точці осі пружини.

Отримана аналітична залежність (5.49) між силою і деформацією в зіркоподібній пружині при передачі запобіжною пружною муфтою обертального моменту може використовуватись при проектуванні нових приводів з такими муфтами, а вираз (5.52) дозволяє визначити максимальну величину моменту згину для небезпечного перерізу і для нього знайти напруження за відомими формулами.



Для пружини з круговими виступами і з защемленими кінцями також розглядати достатньо один виступ, бо інші деформуються подібно до його. Задача зведена до розрахунку кругової арки з защемленими кінцями з використанням методу Мора [18].

Розрахункова схема виступу зіркоподібної пружини показана на рис. 5.20.

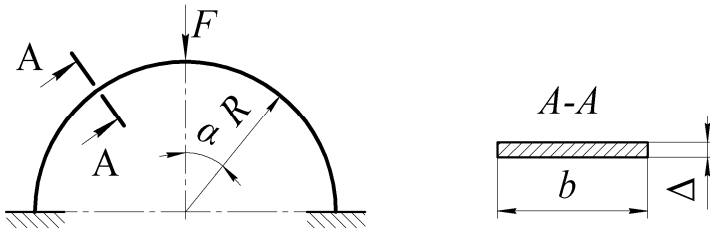


Рис. 5.20. Розрахункова схема виступу зіркоподібної пружини

Згідно [18] така арка з защемленими кінцями (рис. 5.20) являє собою тричі статично невизначену систему. Найбільш придатною еквівалентною та основною системами будуть такі, що показані на рис. 5.21.

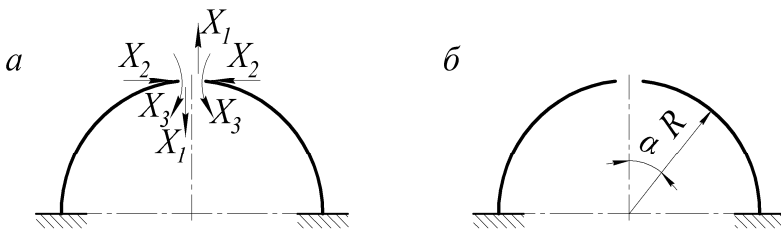


Рис. 5.21. Еквівалентна (а) і основна (б) системи виступу зіркоподібної пружини

Лишні зв'язки приймаємо за невідомі X_1 , X_2 і X_3 . Така арка деформується тотожно виступу зіркоподібної пружини. Невідомі сили в еквівалентній системі визначаємо із умови рівності нулю переміщень за напрямками x_1 , x_2 і x_3 .

Для цього складемо канонічні рівняння методу сил, що показано у (5.2).



δ_{2F} і δ_{3F} визначаються за допомогою інтегралів Мора (5.3). У цих виразах так само: E – модуль пружності першого роду для матеріалу пружини; J – осьовий момент інерції перерізу (див. рис. 5.20), рівний $J = b\Delta^3 / 12$; M_l, M_2, M_3 і M_F – моменти згину, від сил, відповідно X_1, X_2, X_3 і F : $M_1 = \pm X_1 R \sin \alpha$; $M_2 = X_2 R(1 - \cos \alpha)$; $M_3 = X_3$; $M_F = F_1 R \sin \alpha$, де $F_1 = F / 2$.

На рис. 5.21 показані побудовані епюри цих моментів згину.

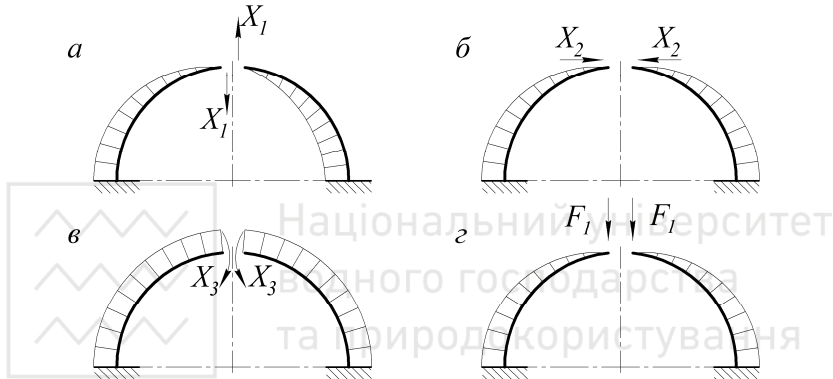


Рис. 5.21. Епюри згинаючих моментів від сил X_1, X_2, X_3 і F

Із аналізу підінтегральних значень моментів виразів (5.3) і епюр (рис. 5.21) маємо: $\delta_{11} = 0$; $\delta_{12} = \delta_{21} = 0$; $\delta_{13} = \delta_{31} = 0$ і $\delta_{1F} = 0$. Відтак, система канонічних рівнянь (5.2) зводиться до системи вигляду:

$$\begin{aligned} \delta_{22}X_2 + \delta_{23}X_3 + \delta_{2F} &= 0 \\ \delta_{32}X_2 + \delta_{33}X_3 + \delta_{3F} &= 0 \end{aligned} \quad (5.53)$$

Використовуємо вирази (5.3) і епюри моментів згину (див. рис. 5.21), прийнявши, що межа інтегрування для криволінійних ділянок – $s = R d\alpha$, для кута α рівного від 0 до $\pi / 2$, отримаємо:



$$\begin{aligned}\delta_{22} &= \frac{R^3}{EJ} \int_0^{\frac{\pi}{2}} (1 - \cos \alpha)^2 d\alpha = \frac{(3\pi - 8)R^3}{4EJ}; \\ \delta_{23} &= \delta_{32} = \frac{R^2}{EJ} \int_0^{\frac{\pi}{2}} (1 - \cos \alpha) d\alpha = \frac{(\pi - 2)R^2}{2EJ}; \\ \delta_{33} &= \frac{R}{EJ} \int_0^{\frac{\pi}{2}} d\alpha = \frac{\pi R}{2EJ}; \\ \delta_{2F} &= \frac{FR^3}{EJ} \int_0^{\frac{\pi}{2}} (1 - \cos \alpha) \sin \alpha d\alpha = \frac{FR^3}{2EJ}; \\ \delta_{3F} &= \frac{FR^2}{EJ} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin \alpha d\alpha = \frac{FR^2}{EJ}.\end{aligned}\tag{5.54}$$

Розв'яжемо систему рівнянь (5.53) відносно невідомих X_2 і X_3 , маємо:

$$X_2 = \frac{\delta_{23}(\delta_{22}\delta_{3F} - \delta_{32}\delta_{2F})}{\delta_{22}(\delta_{22}\delta_{33} - \delta_{23}^2)} + \frac{\delta_{2F}}{\delta_{22}}; \quad X_3 = \frac{\delta_{32}\delta_{2F} - \delta_{22}\delta_{3F}}{\delta_{22}\delta_{33} - \delta_{23}^2}.\tag{5.55}$$

Кінцевий вираз для визначення загального моменту згину у виступі кругової форми з защемленими кінцями буде

$$M_{\Sigma} = M_2 X_2 + M_3 X_3 + M_{2F} + M_{3F}.\tag{5.56}$$

На рис. 5.22 показана епюра загального моменту згину для виступу з защемленими кінцями.

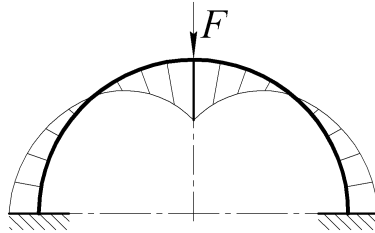


Рис. 5.22. Загальна епюра моменту згину в круговому виступі з защемленими кінцями



При $\alpha = 0$, тобто на осі симетрії колового виступу матимемо максимальний момент згину.

Для визначення переміщення δ використовуємо спосіб Мора і основну систему (див. рис. 5.21, б). У напрямку переміщення δ прикладаємо одиничну силу ($x = 1$) і від неї будуємо епюру моменту згину $M_\delta = R/2$, показану на рис. 5.23.

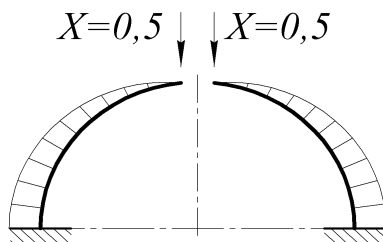


Рис. 5.23. Епюра згинаючого моменту M_δ , від сил X

Далі використовуємо значення моментів M_Σ і M_4 , отримуємо:

$$\delta = \frac{R}{2EJ} (M_2 X_2 + M_3 X_3 + M_{2F} + M_{3F}). \quad (5.57)$$

Характер деформації виступу з защемленими кінцями зіркоподібної пружини показаний на рис. 5.24.

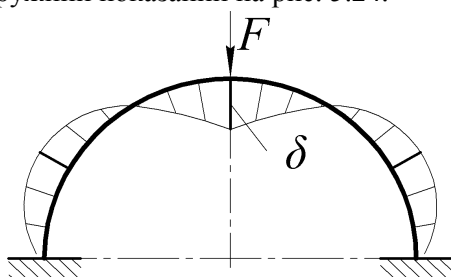


Рис. 5.24. Епюра деформації виступу з защемленими кінцями зіркоподібної пружини

Аналітична залежність (5.57) між деформацією та навантаженням в зіркоподібній пружині з круговими виступами з



зашемленими кінцями може використовуватись при проектуванні нових запобіжних пружних муфт. Вираз (5.56) дозволяє визначити максимальну величину моменту згину для небезпечного перерізу і для нього знайти напруження за відомими формулами. Запропонована методика теоретичного дослідження залежності між навантаженням і деформацією у зіркоподібних пружинах з виступами кругової форми з зашемленими кінцями може використовуватись для пружин з різним числом виступів і є підґрунтям для подальших досліджень запобіжних пружних муфт.

5.4. Розрахунок пружин у вигляді спіралей Архімеда

Основним пружним елементом планетарної муфти є пружини у вигляді спіралі Архімеда, показаної на рис. 4.13, виконані із тонкої високоякісної вуглецевої сталеної стрічки, яка має велику міцність і достатню пластичність. Завдяки високій гнучкості стрічки пружини здатні закручуватись на великий кут повороту валика (до декількох десятків обертів) та акумулювати (гасити) значну енергію.

При виготовленні пружини стрічка навивається на валик (федеркern) так, що витки послідовно укладаються та щільно прилягають один до другого. Кінці стрічки попередньо, на невеликій ділянці, відпалюються для того, щоб забезпечити можливість їх закріплення. З метою стабілізації форми спіралі та напружень, які виникають у перерізах стрічки, останню після навивки майже не розпускають, а поміщають в обойму та витримують в такому стані тривалий час – заневолюють на добу і більше. Якщо в процесі тривалого навантаження пружина не проявить ознак слабкості, а у стрічки не виявляться які небудь дефекти (тріщини, надриви, вм'ятини, зломи та таке інше), тоді пружина, яка приймає у вільному (розпущеному) стані форму Архімедової спіралі, вважається придатною до експлуатації.

Плоскі спіральні стрічкові пружини широко застосовуються в конструкціях різних механізмів і приладів головним чином, як акумулятори енергії з наступним використанням їх в якості двигунів обертового руху.

Для даного випадку спіральні пружини планетарної муфти будуть використовуватись для гасіння значних динамічних навантажень, які виникають під час запуску машин або в інших



періодах їх роботи. Тому в неробочому стані спіральні пружини будуть розпущені, а при передачі обертального моменту муфтою вони будуть заведені. Валиком для нашого випадку будуть нерухомі пальці 3, а барабаном – сателіти 4 з порожнинами 5, у які встановлені спіральні пружини 8 (див. рис. 4.13).

В процесі утворення пружини, а також при роботі, стрічка отримує значні деформації згину, що приводять до виникнення напружень у її поперечних перерізах. Найбільше напруження при виготовленні та заневоленні пружини виникає в крайньому волокні перерізу, рівне

$$\sigma_2 = \sigma_T \left(1 - \frac{r}{E}\right) + r \frac{\delta}{2\rho}, \quad (5.58)$$

де σ_T – границя текучості матеріалу пружини; E – модуль пружності; r – коефіцієнт зміцнення; δ – товщина стрічки пружини; ρ – поточний полярний радіус з рівняння Архімедової спіралі $\rho = \delta \cdot \Theta / 2\pi$, де Θ – полярний кут. Для багатьох марок пружинної стрічки можна приймати $r = 0$.

Напруження на межі пружної зони поперечного перерізу стрічки рівне σ_T . Ця межа лежить від нейтральної осі на відстані

$$h = \rho \frac{\sigma_T}{E}. \quad (5.59)$$

Момент внутрішніх сил в перерізі заневоленої пружини

$$M_{зан} = b \cdot \delta^2 \cdot \sigma_T \left\{ \left(1 - \frac{r}{E}\right) \left[1 - \frac{2}{3\pi} \left(\frac{\sigma_T}{E}\right)^2 \frac{l}{H}\right] + \frac{r}{3\sigma_T} \sqrt{\frac{2\pi H}{l}} \right\}, \quad (5.60)$$

де b – ширина стрічки; l – поточна довжина стрічки від початку відрахунку кута Θ до перерізу, у якому діє момент $M_{зан}$.

Залишкові напруження в крайніх волокнах за напрямком протилежні тим напруженням, які мали місце при заневоленні пружини тому, складаючись з напруженнями, які виникають при роботі, знижують робочі напруження і підвищують несучу здатність пружини в межах пружності.

Величина найбільшого залишкового напруження від'ємного напрямку



$$\sigma'_2 = \frac{\sigma_T}{2} \left(1 - \frac{r}{E}\right) (1 - z^2), \quad (5.61)$$

де

$$z = \frac{2 \cdot \sigma_T \cdot \rho}{E \cdot \delta} = \frac{2h}{\delta}. \quad (5.62)$$

На межі пружної зони зберігаються напруження того знаку, що і напруження робочих режимів:

$$\sigma'_1 = \sigma_T \left(1 - \frac{r}{E}\right) \left(1 - \frac{3}{2}z + \frac{1}{2}z^2\right). \quad (5.63)$$

Найбільші залишкові напруження мають місце в перерізі стрічки, який відповідає $\rho_{\min} \cong d_o / 2$.

Напруження в заведеній пружині в крайньому волокні перерізу стрічки

$$\sigma''_2 = -\sigma'_2 + \frac{M}{W_x}, \quad (5.64)$$

а на межі пружної зони

$$\sigma''_1 = \sigma'_1 + \frac{M \cdot z}{W_x}, \quad (5.65)$$

де M – згинаючий момент у перерізі; W_x – момент опору перерізу.

Наведені формули справедливі при $M \leq M_{\text{зан}}$.

Величина згинаючого моменту залежить від моменту на валику і способу закріплення зовнішнього кінця спіральної пружини.

В залежності від конструкції закріплення зовнішній кінець спіралі можна вважати або защемленим, або закріпленим шарнірно. У першому випадку можна прийняти, що у всіх перерізах спіралі має місце чистий згин, причому згинаючий момент в робочих витках спіралі рівний моменту на валику. В другому випадку момент згину змінюється від перерізу до перерізу.

У нашому випадку кінці пружин кріплять жорстко – внутрішній до осі, а зовнішній – до сателіта, що показано на рис. 5.25.

При жорсткому закріпленні кінців пружини в осі та сателіті, пружина сприймає чистий згин. Напруження згину стрічки



$$\sigma_{32} = \frac{6M}{b\delta^2} \leq [\sigma_{32}], \quad (5.66)$$

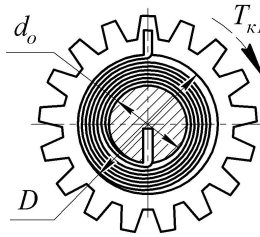


Рис. 5.25. Схема навантаження пружини і закріплення її в сателіті та осі

де M – момент згину, який рівний обертальному моменту на сателіті T_c , тобто

$$M = T_c = \frac{2T_k \cdot z_c}{z_k \cdot n_c}, \quad (5.67)$$

де T_k – максимальний обертальний момент, який передається муфтою; n_c – число сателітів; z_k і z_c – число зубів, відповідно зубчастого колеса і сателіта; b – ширина пружини; δ – товщина пружини (див. рис. 5.26). Товщина пружини вибирається в залежності від діаметра осі сателіта і рівна $\delta = (0,03 \dots 0,04)d_o$; $[\sigma_{32}]$ – допустимі напруження при згині для матеріалу пружини.

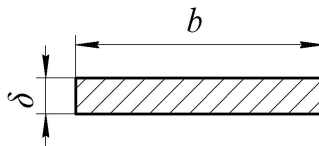


Рис. 5.26. Форма та розміри поперечного перерізу пружини

При проектуванні пружини слід притримуватись також відношення, що $D/d_o = 3$, де D – діаметр порожнини сателіта; d_o – діаметр осі сателіта.



Із умови (5.66) можна визначити необхідну ширину стрічки

$$b = \frac{6M}{\delta^2 [\sigma_{32}]} \quad (5.68)$$

Кут повороту сателіта відносно нерухомої осі визначається за формулою

$$\varphi_c = \frac{ML}{EJ}, \quad (5.69)$$

де L – загальна довжина стрічки; E – модуль пружності першого роду для матеріалу пружини; J – момент інерції поперечного перерізу стрічки пружини, $J = b \cdot \delta^3 / 12$ (див. рис. 5.26).

Довжина пружини з відношенням $D/d_o = 3$ може бути визначена за формулою

$$L = \frac{\pi d_o}{2} (1,74 z_s + 0,67), \quad (5.70)$$

де z_s – число витків розправленої пружини в порожнині сателіта, приймається

$$z_s = 0,01275 d_o / \delta. \quad (5.71)$$

До затягування спіральних пружин муфта працює як планетарний механізм, де внутрішнє зубчасте зачеплення, на протязі всього часу, дозволяє валам обертатися в одному напрямку, тобто виключає момент реверсу веденої півмуфти (якби це було зовнішнє зачеплення), а пружини поглинають динамічні навантаження, які виникають та зменшують їх вплив на деталі привода.

5.5. Динамічні розрахунки пружин

Динамічний розрахунок муфт з металевими пружинами зводиться до визначення їх основної характеристики – жорсткості

$$C_\varphi = \frac{T_k}{\varphi_3}, \quad (5.72)$$

де T_k – обертальний момент, який передається пружною муфтою; φ_3 – кут закручування муфти обертальним моментом T_k (кут відносного повороту півмуфти).



Для муфт постійної жорсткості $C_\varphi = const$. Від величини

жорсткості пружної муфти залежить здатність машини переносити різкі зміни навантаження і працювати без резонансних коливань. Розглянемо, яким чином запропоновані муфти впливають на динамічні властивості машин на прикладі схеми поданих на рис. 5.27, де прийняті такі позначення: J_1 – приведений до вала 1 динамічний момент інерції мас привода (двигуна, передач тощо); J_2 – приведений до вала 2 динамічний момент інерції мас робочої машини; ω_1 і T_{k1} – кутова швидкість і обертальний момент на валу 1; ω_2 і T_{k2} – кутова швидкість і обертальний момент на валу 2; C_φ – жорсткість муфти.

Додаткові умови:

- пружна муфта має постійну жорсткість ($C_\varphi = const$), а жорсткість всіх інших деталей привода значно більша. Тому в розрахунках коливань враховується тільки C_φ ;
- пружна муфта має малу демпфуючу здатність, що дозволяє не враховувати втрати при складанні рівнянь руху;
- привод обладнаний асинхронним двигуном здатним змінювати обертальний момент T_{k1} у широких межах без суттєвої зміни кутової швидкості ω_1 , тобто $\omega_1 = const$.

Перераховані умови дозволяють розглянути систему на рис. 5.27, як просту, з одним ступенем вільності.

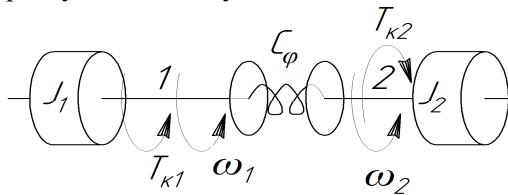


Рис. 5.27. Схема для вивчення впливу муфти на динамічні властивості машини

Розмістимо центр полярних координат на осі вала та прийнемо, що ці осі координат обертаються з кутовою швидкістю ω_g зможемо описати рух системи за допомогою однієї змінної.



Такою змінною буде кут φ_m повороту однієї півмуфти відносно другої в площині їх обертання, а рівняння руху маси J_m запишеться у вигляді

$$J_m \frac{d^2 \varphi_m}{dt^2} + C_\varphi \varphi_m = T_m. \quad (5.73)$$

Розглянемо розв'язки рівняння (5.73) для чотирьох характерних випадків зміни навантаження T_m виконавчого механізму, графіки яких показані на рис. 5.28:

- навантаження змінюється періодично на протязі тривалого часу (рис. 5.28, а);
- величина ударного навантаження після різкого збільшення залишається незмінним на протязі тривалого часу (рис. 5.28, б);
- величина ударного навантаження після різкого збільшення зберігається на протязі малого часу (рис. 5.28, в);
- виконавчий механізм миттєво зупиняється внаслідок значного перевантаження (рис. 5.28, г).

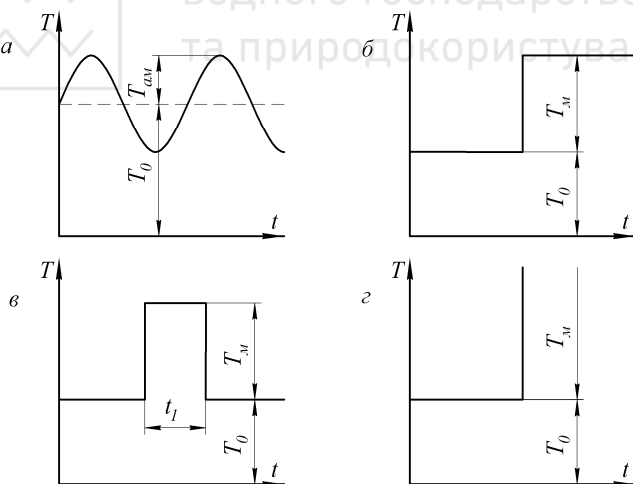


Рис. 5.28. Графіки навантаження виконавчого механізму

Періодична зміна навантаження (рис. 5.28, а) є найбільш розповсюджена на практиці. Приймаємо, що з достатньою точністю



це навантаження можна виразити за допомогою гармонічної функції у вигляді

$$T_m = T_0 + T_{am} \sin \omega t, \quad (5.74)$$

де T_0 – постійна складова навантаження, номінальний обертальний момент на валу двигуна; T_{am} і ω – амплітуда та кругова частота навантаження.

Далі позначимо $\varphi_m = \varphi_0 + \varphi$ і продиференціюємо двічі, маємо

$$\frac{d^2 \varphi_m}{dt^2} = \frac{d^2 \varphi}{dt^2}, \quad (5.75)$$

де φ_0 – кут повороту однієї півмуфти відносно другої в площині їх обертання постійною складовою навантаження.

Враховуючи рівняння (5.74) після нескладних перетворень із рівняння (5.73) отримаємо:

$$J_m \cdot \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + C_\varphi \cdot \varphi = T_{am} \cdot \sin \omega t, \quad (5.76)$$

або

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} + p^2 \cdot \varphi = q \cdot \sin \omega t, \quad (5.77)$$

де

$$p = \sqrt{\frac{C_\varphi}{J_m}} \quad \text{і} \quad q = \frac{T_{am}}{J_m}. \quad (5.78)$$

Вираз (5.76) або (5.77) є рівнянням вимушених гармонічних коливань. Загальний розв'язок цього рівняння має вигляд:

$$\varphi_s = A \sin pt + B \cos pt + \frac{q}{p^2 - \omega^2} \sin \omega t, \quad (5.79)$$

де A і B – постійні коефіцієнти; p – кругова частота вільних коливань.

У рівнянні (5.79) перші два члени виражають вільні, а третій – вимушені коливання системи. Якщо не враховувати перші два члени рівняння (5.79), що часто виконується на практиці, будемо мати

$$\varphi = \frac{q}{p^2 - \omega^2} \cdot \sin \omega t. \quad (5.80)$$



Розв'язок рівняння (5.80) з урахуванням (5.78) приведемо до вигляду

$$\varphi C_{\varphi} = \frac{T_{ам}}{1 - \left(\frac{\omega}{p}\right)^2} \cdot \sin \omega t. \quad (5.81)$$

У рівнянні (5.81) φC_{φ} є динамічною складовою навантаження, яке виникає від зміни зовнішнього навантаження виконавчого механізму.

Позначивши амплітуду динамічного навантаження через $T_{ав}$, отримаємо

$$T_{ав} = \frac{T_{ам}}{1 - \left(\frac{\omega}{p}\right)^2}. \quad (5.82)$$

Залежність між $T_{ав}$ і $\frac{\omega}{p}$ виражається відомою резонансною кривою показаною на рис. 5.29.



Рис. 5.29. Резонансна крива

На основі аналізу отриманої кривої можна зробити висновок, що:

– при значеннях $\frac{\omega}{p} = 0$ і $\frac{\omega}{p} = \sqrt{2}$ значення $T_{ав} = T_{ам}$ за абсолютною величиною;



– у проміжку $0 < \frac{\omega}{p} < \sqrt{2}$ завжди буде $T_{ав} > T_{ам}$ і при $\frac{\omega}{p} = 1$ настає резонанс, що супроводжується поломкою деталей привода, при цьому $T_{ав} \rightarrow \infty$;

– при значеннях $\frac{\omega}{p} > \sqrt{2}$ завжди значення має місце

$$T_{ав} < T_{ам}.$$

Це значить, використовуючи формулу (5.78) і нерівність $\frac{\omega}{p} > \sqrt{2}$, що запропонована пружна муфта забезпечить плавну роботу привода при періодичному навантаженні, коли її жорсткість буде задовольняти умові

$$C_{\varphi} < \frac{J_{м} \cdot \omega^2}{2}. \quad (5.83)$$

Другий випадок характерний для приводів, які вмикаються на повне навантаження після холостого ходу: металорізальні верстати, прокатні стани, вантажопіднімальні машини тощо (рис. 5.28, б).

Рівняння руху маси $J_{м}$ буде подібне (5.76), в якому праву частину слід замінити постійним приростом навантаження $M_{м}$:

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} + p^2 \cdot \varphi = q, \quad (5.84)$$

де

$$q = \frac{M_{м}}{J_{м}}. \quad (5.85)$$

Загальний розв'язок рівняння (5.84) має вигляд

$$\varphi = A \sin pt + B \cos pt + \frac{q}{p^2}. \quad (5.86)$$

Останній член правої частини рішення (5.86) рівний куту відносного повороту маточини відносно вала в площині їх обертання при статичній дії приросту навантаження $M_{м}$. У цьому легко переконатися, якщо взяти до уваги позначення у (5.78).

У рівнянні (5.86) перші два члени виражають вільні коливання, викликані ударним навантаженням, які швидко

затухають внаслідок різних опорів, а залишається один третій член.

На початковій ділянці коливань після ударного навантаження вільні коливання мають суттєві значення, а тому не можуть бути виключені із аналізу. Постійні коефіцієнти A і B у рішенні (5.86) визначаються за початковими умовами. Суть цих умов у тому, що перед ударним навантаженням додатковий кут відносного повороту однієї півмуфти відносно другої в площині їх обертання φ і швидкість її повороту $\frac{d\varphi}{dt}$ були рівні нулю. Тоді, при $t = 0$: $\varphi = 0$

$$\text{і } \frac{d\varphi}{dt} = 0, \text{ а } B = -\frac{q}{p^2}.$$

Продиференціюємо рівняння (5.86) і виконаємо другу початкову умову, маємо, що $A = 0$. Підставимо значення коефіцієнтів A і B у рівняння (5.86), отримаємо

$$\varphi = \frac{q}{p^2} (1 - \cos pt). \quad (5.87)$$

Якщо врахувати позначення (5.78) і перейти до моментів, отримаємо

$$T_{\varepsilon} = \varphi C_{\varphi} = T_{\text{м}} (1 - \cos pt). \quad (5.88)$$

Із рішення (5.88) видно, що при ударному прикладанні навантаження $M_{\text{м}}$ максимальне навантаження привода рівне $2T_{\text{м}}$: при $t = \frac{\pi}{p}$, $T_{\varepsilon \text{max}} = 2T_{\text{м}}$.

При цьому максимальне значення навантаження привода не залежить від частоти вільних коливань системи p , або від жорсткості пружної муфти.

Максимальне навантаження залишається постійним як при жорсткій, так і пружній муфті, а змінюється лише плавність передачі цього навантаження. Цей висновок ґрунтується на рішенні, яке не враховує втрат у пружних муфтах.

У випадку, що розглядається, рішення (5.88) буде справедливим тільки на відрізку часу від $t = 0$ до $t = t_1$. Проаналізувавши це рішення можна зробити висновок:

$$\text{- при } t_1 \geq \frac{\pi}{p} \text{ залишається справедливою рівність } T_{\varepsilon \text{max}} = 2T_{\text{м}};$$



- при $\frac{\pi}{2p} < t_1 < \frac{\pi}{p}$ буде $2T_m > T_{\text{вmax}} > T_m$;

- тільки при $t_1 < \frac{\pi}{2p}$ можна очікувати $T_{\text{вmax}} < T_m$.

У третьому випадку (рис. 5.28, в), при короткочасних навантаженнях після $t = t_1$ система буде вільна від додаткового навантаження T_m . Для дослідження подальшого руху системи (при $t > t_1$) використаємо розв'язок (5.86), враховуючи, що $q = \frac{T_m}{J_m} = 0$.

Тоді отримаємо

$$\varphi = A \sin pt + B \cos pt. \quad (5.89)$$

В розв'язку (5.89) час відраховується від моменту закінчення дії навантаження. Постійні коефіцієнти A і B у розв'язок (5.89) визначаються за початковими умовами. При $t_1 = 0$ кут повороту однієї півмуфти відносно другої в площині їх обертання φ і швидкість її повороту $\frac{d\varphi}{dt}$ визначаються із рівняння (5.86), у якому слід прийняти $t = t_1$.

Тоді отримаємо:

$$\varphi_{t_1=0} = \frac{q}{p^2} (1 - \cos pt_1), \text{ а } \left(\frac{d\varphi}{dt}\right)_{t_1=0} = \frac{q}{p^2} \sin pt_1.$$

За першою умовою із розв'язку (5.89) маємо:

$$B = \frac{q}{p^2} (1 - \cos pt_1), \text{ а за другою } - A = \frac{q}{p^2} \sin pt_1.$$

При підстановці значень постійних коефіцієнтів A і B у розв'язку (5.89) отримаємо:



$$\varphi = \frac{q}{p^2} [\sin pt_1 \sin pt_1 + (1 - \cos pt_1) \cos pt_1], \quad (5.90)$$

або

$$T_{\epsilon} = T_m [\sin pt_1 \sin pt_1 + (1 - \cos pt_1) \cos pt_1]. \quad (5.91)$$

Розв'язок (5.91) дозволяє аналітично визначити максимальне значення T_{ϵ} у залежності від співвідношення t_1 від p .

Можна відмітити, що T_{ϵ} помітно зменшується порівняно з T_m , якщо t_1 менше, ніж $1/8$ періоду вільних коливань системи ($t_1 = \frac{\pi}{4p}$).

Таким чином, правильним вибором жорсткості пружної муфти можна зменшити шкідливу дію ударного навантаження на привод машини.

Виконавчий механізм миттєво зупиняється внаслідок значного перевантаження (рис. 5.28, з). Кутова швидкість валів до перевантаження була постійною і рівною ω_{ϵ} . Після зупинки (двигун не виключений) система буде навантажена пусковим моментом електродвигуна $T_{\text{пуск}}$. З метою спрощення рішення приймаємо, що $T_{\text{пуск}} = T_n$. При цьому постійну складову кута повороту ведучого відносно веденого вала в площині їх обертання φ_0 виключаємо із розгляду, а рух маси J_{ϵ} буде описуватись рівнянням вільних коливань з початковими умовами: при $t = 0$, $\varphi = 0$ і $\frac{d\varphi}{dt} = \omega_{\epsilon}$.

При визначенні постійних коефіцієнтів A і B для цих умов, отримаємо:

$$B = 0; \quad A = \frac{\omega_{\epsilon}}{p} \quad \text{і} \quad \varphi = \frac{\omega_{\epsilon}}{p} \sin pt. \quad (5.92)$$

Враховуючи (5.92), отримаємо додатковий момент, який діє на систему

$$T = \varphi C_{\varphi} = \frac{C_{\varphi} \omega_{\epsilon} p}{p^2} \sin pt = J_{\epsilon} \omega_{\epsilon} p \sin pt, \quad (5.93)$$



при
$$t = \frac{\pi}{2p} \quad T_{\max} = J_{\epsilon} \omega_{\epsilon} p. \quad (5.94)$$

Розв'язок (5.94) дозволяє відмітити, що величина додаткового моменту, який діє на систему в результаті її раптової зупинки, прямо пропорційна частоті вільних коливань системи p . Чим менша жорсткість пружної муфти при інших рівних умовах, тим менше перевантаження привода. Для жорстких муфт перевантаження можуть досягати дуже великих величин і викликати поломку привода.

Проведений аналіз отриманих розв'язків динамічних властивостей пружних муфт з металевими пружинами, при передачі ними періодичного, ударного довготривалого і короткотривалого навантаження та їх значного перевантаження, аж до зупинки виконавчого механізму, істотно пом'якшує процес передачі цього навантаження від першого до другого вала.





ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу сучасного стану конструкцій відомих муфт узагальнено їх недоліки і розроблені нові конструкції з пружними елементами, фрикційними зв'язками, автоматизації за рахунок інертності мас, що забезпечує більшу надійність і довговічність приводів машин та механізмів.

2. Для більш характерних муфт виведені аналітичні залежності між силою і деформацією при передачі обертального моменту, які можна використовувати при їх проектуванні. Запропонована методика теоретичного дослідження залежності між навантаженням і деформацією у різних нових пружних елементах муфт може використовуватись для різних пружин і є підґрунтям для подальших досліджень пружних муфт.

3. Проведеним аналізом динамічних властивостей муфт, при передачі ними періодичного та ударного навантаження виявлено, що у них пом'якшується процес передачі обертального моменту.

Щоб уникнути шкідливих наслідків резонансу в таких муфтах, запропоновано їх удосконалення [49; 50], де бічні поверхні кулачків і маточин, що контактують, футеровані гумовими прокладками. Внаслідок цього муфти працюють, як муфти змінної жорсткості.

4. На прикладах комп'ютерного моделювання при проектуванні муфт рекомендується широке застосування програм 3D, наприклад, «SolidWorks», або інших тому, що:

- на початковій стадії проектування можна отримати візуальне уявлення про муфти, оглянути їх з будь-якої точки;
- підвищити точність, досягати великої економії часу і витрат на проектування муфт;
- легко редагувати трьохмірні моделі муфт, тобто вносити необхідні зміни;
- отримати велике число можливих варіантів проектних рішень для муфт і на основі глибокого аналізу вибрати найкращий варіант.

5. Матеріали монографії впроваджені в дисципліни «Машинознавства» для вивчення студентами на кафедрах Національного університету «Львівська політехніка» (м. Львів) на кафедрі «Технічна механіка та динаміки машин» і Національного університету водного господарства та природокористування (м. Рівне) на кафедрі теоретичної механіки, інженерної графіки та машинознавства.



Автомат – це пристрій, який виконує всі операції без безпосередньої участі людини.

Болт – це деталь у вигляді циліндричного стержня на одному кінці якого виконана нарізь, а на другому – виконана головка і працює сумісно з гайкою.

Вал – це деталь, яка забезпечує обертальний рух, встановлених на ній, шківів, зірочок, зубчастих та черв'ячних коліс, котків тощо, передаючи корисний обертальний момент.

Виріб – довільний предмет або сукупність предметів, які виготовляються на підприємстві.

Гайка – це деталь з нарізевим отвором і конструктивним елементом для прикладання обертального моменту.

Галтель – це плавний коловий перехід від діаметра меншої до діаметра більшої сходинки вала.

Гвинт – це деталь у вигляді циліндричного стержня на одному кінці якого виконана нарізь, а на другому – виконана головка.

Графік – наочне зображення кількісної залежності різних явищ, процесів тощо.

Деталь – виріб, виготовлений із матеріалу однієї марки без використання складальних операцій.

Деталі машин – дисципліна, у якій вивчають основи проектування та конструювання деталей машин загального призначення, тобто таких, які використовуються у всіх машинах.

Деформація – це зміна форми чи розмірів деталі або виробу.

Допуск – різниця між найбільшим і найменшим граничними розмірами чи алгебраїчна різниця між верхнім і нижнім відхиленнями.

ЄСКД – Єдина Система Конструкторської Документації.

Жорсткість – це здатність деталей чинити опір зміні форми чи розмірів при дії експлуатаційних навантажень.

Зносостійкість – це здатність деталей чинити опір спрацюванню внаслідок тертя рухомих поверхонь, що контактують.

Інструмент – це технологічне оснащення яке в процесі праці безпосередньо стикається з предметом праці з метою зміни і контролю його форми, стану і властивостей.

Канавка – це невелика довгаста заглибина на поверхні деталі.



Канал – це вузький довгий порожнистий простір в середині деталі

Квалітет – сукупність допусків, що відповідають одному рівню точності для всіх номінальних розмірів.

Кільце – це деталь у формі кола.

Конструювання – це процес створення конкретної однозначної конструкції технічного об'єкта згідно з проектом.

Машина – це будова, що виконує механічні рухи для перетворення енергії, матеріалів та інформації, щоб полегшити працю людини.

Механізм – спеціально створений кінематичний ланцюг, який призначений для передавання та перетворення рухів і сил одного чи кількох тіл у потрібні рухи і сили інших тіл.

Механічна передача – це механізм, що передає енергію від двигуна до робочого органу машини з перетворюванням параметрів руху та силових чинників.

Механічний привод – це кінематичний ланцюг, що має двигун, муфту та механічні передачі, який передає енергію від двигуна до робочого органу машини з перетворенням кінематичних і силових параметрів.

Міцність – це здатність деталей чинити опір руйнуванню.

Муфта – це виріб для з'єднання валів механічних приводів машин.

Надійність – вимога, що визначає такий стан деталі чи складальної одиниці, при якому вона здатна виконувати функції з параметрами заданими технічною документацією на протязі наперед заданого проміжку часу.

Напруження – це фізична величина, яка визначається відношенням пружної сили до площі перпендикулярного або дотичного до сили перерізу.

Натяг – різниця розмірів вала та отвору до складання, якщо діаметр вала більший за діаметр отвору.

Оптимізація – це процес надання будь чому найвигідніших характеристик співвідношень.

Основні ряди Ra – ряди переважаючих чисел розмірів згідно ГОСТ 8032-84.

Перевірочні розрахунки – це розрахунки, які виконуються для готових деталей або на кінцевих етапах проектування і конструювання за потрібними критеріями роботоздатності.



Посадка – характер з'єднання двох деталей, що визначається різницею їхніх розмірів до складання.

Пружина – це деталь призначена для поглинання, накопичення і віддавання механічної енергії за рахунок своєї пружної деформації.

Проектні розрахунки – це розрахунки для визначення розмірів деталей. Ці розрахунки, здебільшого, виконують за спрощеними методиками.

Проектування – це неперервний процес, у якому наукова і технічна інформація використовується для створення нового технічного об'єкта, що дає суспільству певну користь.

Роботоздатність – вимога, що визначає такий стан деталі чи складальної одиниці, при якому вона здатна виконувати функції з параметрами заданими технічною документацією.

Руйнування – це досягнення матеріалом такого стану коли порушується конструктивна функція твердого тіла.

Складальна одиниця – виріб, який складається з двох і більше деталей, з'єднаних між собою за допомогою складальних операцій для сумісної роботи.

Стандартизація – це закон, що регламентує конструкції та типорозміри деталей, складальних одиниць, комплексів і комплектів, які широко застосовуються у машинобудуванні.

Сфера – замкнута поверхня, геометричне місце точок рівновіддалених від точки, що є центром цієї поверхні.

Технічний об'єкт – створений людиною реально існуючий пристрій, призначений для задоволення певної потреби.

Технологічність – вимога до деталей чи складальних одиниць у їх найбільшій простоті і мінімальних витратах матеріалів, часу та праці при виробництві, експлуатації та ремонті.

Тиск – це фізична величина, рівна відношенню сили, яка діє нормально до поверхні, до величини площі цієї поверхні.

Шпилька – це деталь у вигляді циліндричного стержня на одному і на другому кінцях якого виконана нарізь.

Шорсткість – це показник механічної обробки поверхні виробу, який проявляється у вигляді сукупності виступів та западин різних форм і розмірів.

Шпонка – це деталь, яку встановлюють у пази вала і маточини з метою утворення з'єднання, здатного передавати обертальний момент від вала до маточини або від маточини до вала.



ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

Автоматизація, 165

Амплітуда, 158

Болт, 15

Важіль, 81, 83, 84

Вакуум, 56, 63, 64

Вібрація, 4, 106

Втулка, 6, 7, 9, 11

Гвинт, 16, 17, 37, 56

Гайка, 65

Гільза, 16

Дебаланс, 90

Деформація, 10, 14, 164

Диск, 72, 79, 82, 87

ДСТУ, 5

Елемент, 32, 34

Епюра, 131, 133, 135, 139

Жорсткість, 156, 160

Захист, 4

З'єднання, 4

Інертність, 92, 95, 98

Камера, 70

Квадрат, 7, 11, 125, 127

Класифікація, 5

Кулька, 109, 115, 120

Модель, 11, 23, 31, 41, 55, 89

Момент згину, 134, 141, 151

Напруження, 141, 152, 155

Нарізь, 66, 69

Насос, 42

Обойма, 15, 42

Оболонка, 66, 99

Опора, 132

Переміщення, 144

Підшипник, 14, 84, 86

Пневматика, 65, 68

Присоска, 60

Пружина, 14, 16, 32, 37, 90

Рідина, 42

Розрідження, 59

Сателіт, 114

Система, 45, 132

Стакан, 94, 95, 97

Стержень, 26, 27, 29

Трикутник, 6, 26, 127

Труба, 121, 123, 125

Удосконалення, 4

Ущільнення, 42

Фіксація, 79, 90

Фланець, 99

Центр ваги, 91

Шестикутник, 125, 127

Шпонка, 17, 67, 92

Шліци, 69, 77



1. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х томах. М. : Машиностроение, 1979–1982. Т. 1. 728 с.; Т. 2. 559 с.; Т. 3. 557 с.
2. ДСТУ 2278-93. Муфти механічні. Терміни та визначення.
3. Дудаева Н., Загайко С. Самоучитель SolidWorks 2010. Санкт-Петербург : BHV-СПб, 2011. 416 с.
4. Иванов М. Н. Детали машин : учебник. М. : Высшая школа, 1991. 383 с.
5. Иосилевич Г. Б. Детали машин. М. : Машиностроение, 1988. 368 с.
6. Заблонський К. І. Деталі машин. К. : Вища школа, 1999. 404 с.
7. Малащенко В. О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків. Львів : НУ «Львівська політехніка», 2006. 196 с.
8. Малащенко В. О., Федорук В. А., Стрілець В. М. Новий напрямок в конструюванні муфт – інерційно-фрикційні. *Вісник НУВГП. Технічні науки* : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2011. Вип. 4 (56). С. 106–118.
9. Малащенко В. О., Федорук В. А., Стрілець В. М. Автоматичні інерційно-фрикційні муфти зчеплення транспортних засобів та принципи передавання енергії. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. Херсон : ХДМА, 2012. № 1(6). С. 274–284.
10. Малащенко В. О., Федорук В. А., Стрілець В. М. Принцип передавання енергії двигунів інерційно-фрикційними муфтами. *Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування* : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції (СЕУТТОО-2012). Херсон : ХДМА, 2012. С. 109–115.
11. Малащенко В. О., Федорук В. А., Стрілець В. М. Принцип передавання енергії двигунів інерційно-фрикційними муфтами та їх аналіз. *Науковий вісник ХДМУ*. Херсон : ХДМУ, 2012. № 2 (7). С. 176–182.
12. Малащенко В. О., Федорук В. А., Стрілець В. М. Передавання енергії та динамічні характеристики приводів з автоматичними інерційно-вакуумними муфтами. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Тематичний випуск «Проблеми механічного приводу»* : зб. наук. праць. Харків : НТУ



13. Малащенко В. О., Федорук В. А., Стрілець В. М. Інерційно-фрикційні муфти без веденої напівмуфти, їх принцип роботи та деякі динамічні характеристики. *Підйомно-транспортна техніка* : журнал. № 1, 2013. С. 76–85.

14. Малащенко В. О., Федорук В. А., Стрілець В. М. Принцип передачі енергії двигунів автоматичними інерційно-вакуумними муфтами та їх динамічні характеристики. *Вісник НУВГП. Технічні науки* : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2013. Вип. 3 (63). С. 250–263.

15. Малащенко В. О., Брошук Ю. М., Стрілець В. М. Передача обертального моменту профільною втулкою. *12-й Міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові, 28-29 травня 2015 року* : тези, Львів : КІНПАТРИ ЛТД, 2015. С. 180–181.

16. Малащенко В., Стрілець В., Брошук Ю., Стрілець О. Обґрунтування параметрів муфти запобіжної з профільною втулкою. *Теорія і практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатація машинобудівних конструкцій* : тези доповідей 5-ої Міжнародної науково-практичної конференції, 27-28 жовтня, 2016. Львів. С. 110–112.

17. Павлище В. Т. Основи конструювання та розрахунки деталей машин. К. : Вища школа, 1993. 558 с.

18. Поліщук М. П. Будівельна механіка : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2004. 237 с.

19. Расчеты на прочность в машиностроении / С. Д. Пономарев, В. Л. Бидерман, К. К. Лихарев и др. Т. 2. М. : Машгиз, 1958. 974 с.

20. Проценко В. О. Синтез пружно-компенсуючих муфт з канатними елементами : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.02. Львів : НУ «Львівська політехніка», 2012. 21 с.

21. Решетов Д. Н. Детали машин. М. : Машиностроение, 1989. 496 с.

22. Ряховский О. А., Иванов С. С. Справочник по муфтам. Л. : Политехника, 1991. 383 с.

23. Стрілець В. М., Стрілець О. Р., Марчук Н. М. Нова пружна муфта – статичні та деякі динамічні розрахунки. *Вісник НУВГП. Технічні науки* : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2010. Вип. 1 (49). С. 111–120.

24. Стрілець В. М., Стрілець О. Р., Кривицький А. О. Статичні та динамічні дослідження пружної планетарної муфти. *Вісник НУВГП.*



Технічні науки : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2010. Вип. 3 (51). С. 114–122.

25. Стрілець В. М., Стрілець О. Р., Герасимчук А. Л. Пружні муфти з підковоподібними радіальними пружинами та їх розрахунки. *Вісник НУВГП. Технічні науки* : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2011. Вип. 3 (55). С. 93–108.

26. Стрілець В. М., Федорук В. А., Гнатюк Д. Ю. Про будову і роботу деяких зчіпних інерційно-фрикційних муфт. *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси ІРТК-2012* : зб. тез V-ої Міжнародної науково-практичної конференції, Київ, 15-16 травня 2012 р. Київ, 2012. С. 356–358.

27. Стрілець В. М., Федорук В. А., Гнатюк Д. Ю. Застосування програми «SolidWorks» при проектуванні муфт приводів. *Вісник НУВГП. Технічні науки* : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2012. Вип. 3 (59). С. 142–149.

28. Стрілець В. М., Федорук В. А., Стрілець О. Р., Ковальчук Р. В. Про будову і роботу муфти інерційно-відцентрової пружної та її комп'ютерне моделювання. *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси ІРТК-2013* : зб. тез V-ої Міжнародної науково-практичної конференції, Київ, 27-29 травня, 2013 р. Київ, 2013. С. 230–232.

29. Стрілець В. М., Федорук В. А., Стрілець О. Р., Ковальчук Р. В. Будова, принцип роботи та розрахунки інерційно-відцентрової пружної муфти. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки* : науковий журнал. Хмельницький : ХНУ, 2013. Вип. 6. С. 22–28.

30. Стрілець В. М., Стрілець О. Р., Завальський В. В. Напружений стан підковоподібних пружин з защемленими кінцями у пружних муфтах. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки* : науковий журнал. Хмельницький : ХНУ, 2014. Вип. 6. С. 12–17.

31. Стрілець В. М., Стрілець О. Р., Завальський В. В. Пружна муфта. *Науковий форум: актуальні питання науки і техніки у XXI столітті* : зб. матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції, Київ, Україна, 28 травня 2014 р. Центр Науково-Практичних Студій, 2014.

32. Стрілець В. М., Федорук В. А., Стрілець О. Р., Завальський В. В. Про будову і роботу нової муфти пружної та її комп'ютерне моделювання. *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні*



комплексні *ПРТК-2014* : зб. тез VII-ої Міжнародної науково-практичної конференції, Київ, 17-19 травня, 2014 р. Київ, 2014. С. 230–232.

33. Стрілець В. М., Стрілець О. Р., Завальський В. В. Напружений стан підковоподібних пружин пружних муфт з защемленими кінцями. *Теорія і практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатація машинобудівних конструкцій* : тези доповідей 4-ої Міжнародної науково-технічної конференції, Львів, 30-31 жовтня, 2014 р. Львів, 2014. С. 25–26.

34. Стрілець В. М., Лисанець О. В., Стрілець О. Р. Про будову і роботу деяких запобіжних пружних муфт. *Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси ПРТК-2015* : зб. тез VIII-ої Міжнародної науково-практичної конференції, Київ, 18-19 травня, 2015 р. Київ, 2015. С. 208–210.

35. Стрілець В. М., Стрілець О. Р., Лисанець О. В. Муфта запобіжна з зіркоподібною пружиною. *12-й Міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові* : зб. тез, Львів, 28-29 травня 2015 р. Львів : КІНПАТРИ ЛТД, 2015. С. 195–196.

36. Стрілець В. М., Лисанець О. В., Стрілець О. Р. Обґрунтування кінематико-силових параметрів зіркоподібної пружини запобіжної пружної муфти. *Галузеве машино-будування, будівництво* : зб. наук. праць Полтавського національного технічного університету. ПолтНТУ, 2015. Вип. 3(45). С. 40–46.

37. Стрілець В. М., Брошук Ю. М., Стрілець О. Р. Про будову і роботу втулкової запобіжної пружної муфти. *Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси ПРТК-2015* : зб. тез VIII-ої Міжнародної науково-практичної конференції, Київ, 18-19 травня, 2015 р. Київ, 2015. С. 190–192.

38. Стрілець В. М., Брошук Ю. М., Стрілець О. Р. Розробка конструкцій та обґрунтування параметрів втулкових пружних муфт. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки* : науковий журнал. 2016. Хмельницький : ХНУ, 2016. Вип. 5. С. 18–23.

39. Стрілець В. М., Стрілець О. Р., Степанюк А. А. Силіві залежності від обертального моменту у запобіжній муфті з зіркоподібною пружиною з защемленими кінцями виступів. *Вісник НУВГП. Технічні науки* : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2016. Вип. 4 (76). С. 294–304.



40. Стрілець В. М., Стрілець О. Р., Степанюк А. А. Силові параметри пружної запобіжної муфти з зіркоподібною пружиною з круговими виступами. *Вісник НУВГП. Технічні науки* : зб. наук. праць. 2016. Рівне : НУВГП, 2016. Вип. 3 (75). С. 247–256.

41. Стрілець В. М., Стрілець О. Р., Сенніков О. С., Бондарук А. А. Пружний вал карданної передачі з трикутним профільним з'єднанням. *Вісник НУВГП. Технічні науки* : зб. наук. праць. 2017. Рівне : НУВГП, 2017. Вип. 2 (78). С. 76–85.

42. Стрілець В. М., Стрілець О. Р., Бондарук А. А., Сенніков О. С. Конструкція, принцип роботи і статичний розрахунок пружного вала карданної передачі. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Технічні науки*. Маріуполь : ПДТУ, 2017. Вип. 2 (77). С. 124–131.

43. Стрілець В. М., Стрілець О. Р., Степанюк А. А. Напруження і деформації виступу зіркоподібної пружини з защемленими кінцями пружної муфти. *Галузеве машинобудування, будівництво* : зб. наук. праць Полтавського національного технічного університету. 2017. ПолтНТУ, 2017. Вип. 1(48). С. 26–33.

44. Стрілець В. М., Федорук В. А., Гнатюк Д. Ю. Про будову і роботу деяких зчіпних інерційно-фрикційних муфт. *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси ІРТК-2012* : зб. тез V-ої Міжнародної науково-практичної конференції, Київ, 15-16 травня, 2012 р. Київ, 2012. С. 356–358.

Патенти

45. Гідравлічна муфта : пат. 51955 Україна, МПК F 16 D 33/08. / Стрілець В. М., Куденко М. М.; заявник і власник патенту Український державний університет водного господарства та природокористування. № 2001117637; заявл. 08.11.01; опубл. 15.06.05, Бюл. № 6.

46. Зубчаста муфта : пат. 47267 Україна, МПК F 16 D 3/18 (2009.01). / Малащенко В. О., Стрілець О. Р., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № u 2009 07586; заявл. 20.07.09; опубл. 25.01.10, Бюл. № 2.

47. Пружна муфта : пат. 47280 Україна, МПК F 16 D 3/12 (2009.01). / Малащенко В. О., Стрілець О. Р., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного



господарства та природокористування. № у 2009 07720; заявл. 22.07.09; опубл. 25.01.10, Бюл. № 2.

48. Пружна муфта : пат. 48172 Україна, МПК F 16 D 3/12 (2009.01). / Стрілець О. Р., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 2009 09299; заявл. 10.09.09; опубл. 10.03.10, Бюл. № 5.

49. Пружна муфта : пат. 48367 Україна, МПК F 16 D 71/00 (2009.01). / Стрілець О. Р., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 2009 10886; заявл. 28.10.09; опубл. 10.03.10, Бюл. № 5.

50. Кулачково-дискова муфта : пат. 49673 Україна, МПК F 16 D 3/18 (2006.01). / Стрілець О. Р., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 2009 10883; заявл. 28.10.09; опубл. 11.05.10, Бюл. № 9.

51. Кулачково-дискова муфта : пат. 49771 Україна, МПК F 16 D 3/18 (2006.01). / Стрілець О. Р., Марчук Н. М., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 2009 11936; заявл. 23.11.09; опубл. 11.05.10, Бюл. № 9.

52. Кулачково-дискова муфта : пат. 49813 Україна, МПК F 16 D 3/16 (2009.01). / Стрілець О. Р., Марчук Н. М., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 2009 12321; заявл. 30.11.09; опубл. 11.05.10, Бюл. № 9.

53. Пружна муфта : пат. 51226 Україна, МПК F 16 D 3/12 (2009.01). / Стрілець О. Р., Марчук Н. М., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 2009 13567; заявл. 25.12.09; опубл. 12.07.10, Бюл. № 13.

54. Пружна муфта : пат. 51361 Україна, МПК F 16 D 3/12 (2009.01). / Стрілець О. Р., Марчук Н. М., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 2010 01184; заявл. 05.02.10; опубл. 12.07.10, Бюл. № 13.

55. Планетарна муфта : пат. 51362 Україна, МПК F 16 D 3/12 (2009.01). / Стрілець О. Р., Кривицький А. О., Стрілець В. М.;



заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 2010 01185; заявл. 05.02.10; опубл. 12.07.10, Бюл. №13.

56. Муфта пружно-відцентрова : пат. 54453 Україна, МПК F 16 D 3/12 (2009.01). / Федорук В. А., Стрілець О. Р., Стрілець В. М., Федорук М. Л., Бондарчук Б. В.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 2010 05419; заявл. 05.05.10; опубл. 10.11.10, Бюл. № 21.

57. Спосіб передачі крутного моменту муфтою : пат. 54454 Україна, МПК F 16 D 13/00, F 16 D 43/00 (2009.01). / Федорук В. А., Стрілець О. Р., Стрілець В. М., Федорук М. Л., Бондарчук Б. В.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 2010 05421; заявл. 05.05.10; опубл. 10.11.10, Бюл. № 21.

58. Муфта пружно-інерційна запобіжна : пат. 54459 Україна, МПК F 16 D 13/00, F 16 D 43/00 (2009.01). / Федорук В. А., Стрілець О. Р., Стрілець В. М., Федорук М. Л., Бондарчук Б. В.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 2010 05475; заявл. 05.05.10; опубл. 10.11.10, Бюл. № 21.

59. Муфта пружно-відцентрова : пат. 55002 Україна, МПК F 16 D 13/00, F 16 D 43/00 (2009.01). / Федорук В. А., Федорук С. Л., Стрілець О. Р., Стрілець В. М., Федорук М. Л.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 2010 04360; заявл. 14.04.10; опубл. 25.11.10, Бюл. № 22.

60. Муфта пружно-відцентрова : пат. 55246 Україна, МПК F 16 D 3/12, F 16 D 43/00 (2009.01). / Федорук В. А., Стрілець О. Р., Стрілець В. М., Федорук М. Л., Бондарчук Б. В.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 2010 06354; заявл. 25.05.10; опубл. 10.12.10, Бюл. № 23.

61. Муфта інерційно-фрикційна : пат. 55249 Україна, МПК F 16 D 13/00, F 16 D 43/00 (2009.01). / Федорук В. А., Стрілець О. Р., Стрілець В. М., Федорук М. Л., Бондарчук Б. В.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 2010 06361; заявл. 25.05.10; опубл. 10.12.10, Бюл. № 23.



62. Муфта пружно-відцентрова : пат. 59233 Україна, МПК (2011.01)F 16 D 3/12, F 16 D 43/00 (2006.01). / Стрілець О. Р., Федорук В. А., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 2010 12004; заявл. 11.10.10; опубл. 10.05.11, Бюл. № 9.

63. Муфта пружно-інерційна запобіжна : пат. 59234 Україна, МПК (2011.01)F 16 D 3/12, F 16 D 43/00 (2006.01). / Стрілець В. М., Федорук В. А., Стрілець О. Р.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 2010 12036; заявл. 11.10.10; опубл. 10.05.11, Бюл. № 9.

64. Пружна муфта : пат. 59332 Україна, МПК (2011.01)F 16 D 3/12. / Стрілець О. Р., Федорук В. А., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 2010 12864; заявл. 29.10.10; опубл. 10.05.11, Бюл. № 9.

65. Пружна муфта : пат. 59374 Україна, МПК (2011.01)F 16 D 3/12. / Стрілець О. Р., Малащенко В. О., Стрілець В. М., Федорук В. А.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 2010 13286; заявл. 08.11.10; опубл. 10.05.11, Бюл. № 9.

66. Пружна муфта : пат. 59626 Україна, МПК (2006.01)F 16 D 3/12. / Стрілець В. М., Федорук В. А., Стрілець О. Р.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 2010 12846; заявл. 29.10.10; опубл. 25.05.11, Бюл. № 10.

67. Пружна муфта : пат. 59688 Україна, МПК (2006.01)F 16 D 3/12. / Стрілець О. Р., Федорук В. А., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 2010 13251; заявл. 08.11.10; опубл. 25.05.11, Бюл. № 10.

68. Муфта пружно-відцентрова : пат. 61698 Україна, МПК (2006.01)F 16 D 3/12. / Федорук В. А., Стрілець О. Р., Федорук С. Л., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201100284; заявл. 10.01.11; опубл. 25.07.11, Бюл. № 14.

69. Пружна муфта : пат. 61699 Україна, МПК (2006.01)F 16 D 3/12. / Стрілець О. Р., Федорук В. А., Стрілець В. М., Герасимчук А. Л.;



заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201100285; заявл. 10.01.11; опубл. 25.07.11, Бюл. № 14.

70. Пружна муфта : пат. 62463 Україна, МПК (2006.01)F 16 D 3/12. / Федорук В. А., Федорук С. Л., Стрілець О. Р., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201102342; заявл. 28.02.11; опубл. 25.08.11, Бюл. № 16.

71. Пружна муфта : пат. 62465 Україна, МПК (2006.01)F 16 D 3/12. / Стрілець О. Р., Федорук В. А., Стрілець В. М., Герасимчук А. Л.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201102365; заявл. 28.02.11; опубл. 25.08.11, Бюл. № 16.

72. Спосіб передачі крутного моменту : пат. 63039 Україна, МПК (2011.01)F 16 D 13/00, F 16 D 43/00. / Федорук В. А., Федорук С. Л., Стрілець О. Р., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201102344; заявл. 28.02.11; опубл. 26.09.11, Бюл. № 18.

73. Пружна муфта : пат. 63040 Україна, МПК (2006.01)F 16 D 3/12. / Федорук В. А., Стрілець О. Р., Федорук С. Л., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201102359; заявл. 28.02.11; опубл. 26.09.11, Бюл. № 18.

74. Пружна муфта зі змієподібною пружиною : пат. 63042 Україна, МПК (2006.01)F 16 D 3/12. / Федорук В. А., Стрілець О. Р., Федорук С. Л., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201102345; заявл. 28.02.11; опубл. 26.09.11, Бюл. № 18.

75. Муфта інерційно-фрикційна : пат. 63056 Україна, МПК (2011.01) F 16 D 13/00, F 16 D 43/00. / Федорук В. А., Стрілець О. Р., Стрілець В. М., Федорук С. Л.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201102465; заявл. 02.03.11; опубл. 26.09.11, Бюл. № 18.

76. Муфта інерційно пневматична : пат. 63057 Україна, МПК (2011.01) F 16 D 13/00, F 16 D 43/00. / Федорук В. А., Федорук С. Л., Стрілець О. Р., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту



водного господарства та природокористування. № у 201102472; заявл. 02.03.11; опубл. 26.09.11, Бюл. № 18.

77. Муфта інерційно-вакуумна регульована : пат. 63058 Україна, МПК (2011.01) F 16 D 13/00, F 16 D 43/00. / Федорук В. А., Федорук С. Л., Стрілець О. Р., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201102473; заявл. 02.03.11; опубл. 26.09.11, Бюл. № 18.

78. Пружна муфта : пат. 63059 Україна, МПК (2006.01) F 16 D 3/12. / Стрілець О. Р., Федорук В. А., Стрілець В. М., Герасимчук А. Л.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201102474; заявл. 02.03.11; опубл. 26.09.11, Бюл. № 18.

79. Муфта запобіжна інерційно-вакуумна : пат. 63809 Україна, МПК (2011.01) F 16 D 13/00, F 16 D 43/00. / Федорук В. А., Федорук С. Л., Стрілець О. Р., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201102478; заявл. 02.03.11; опубл. 25.10.11, Бюл. № 20.

80. Муфта інерційно-фрикційна запобіжна : пат. 64463 Україна, МПК (2011.01) F 16 D 13/00, F 16 D 43/00. / Федорук В. А., Федорук С. Л., Стрілець О. Р., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201104226; заявл. 07.04.11; опубл. 10.11.11, Бюл. № 21.

81. Пружна муфта : пат. 67994 Україна, МПК (2006.01) F 16 D 3/12. / Стрілець О. Р., Стрілець В. М., Федорук В. А., Герасимчук А. Л.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201110252; заявл. 22.08.11; опубл. 12.03.12, Бюл. № 5.

82. Муфта зчеплення інерційно-фрикційна дискова : пат. 69505 Україна, МПК (2012.01) F 16 D 13/00. / Малащенко В. О., Федорук В. А., Стрілець В. М., Гнатюк Д. Ю.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201113912; заявл. 25.11.11; опубл. 25.04.12, Бюл. № 8.

83. Муфта зчеплення інерційно-фрикційна торова : пат. 70786 Україна, МПК (2012.01) F 16 D 13/00. / Малащенко В. О.,



Федорук В. А., Стрілець В. М., Стрілець О. Р.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201114474; заявл. 07.12.11; опубл. 25.06.12, Бюл. № 12.

84. Муфта зчеплення інерційно-фрикційна клинчаста : пат. 70787 Україна, МПК (2012.01)F 16 D 13/00. / Малащенко В. О., Федорук В. А., Стрілець В. М., Стрілець О. Р., Гнатюк Д. Ю.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201114476; заявл. 07.12.11; опубл. 25.06.12, Бюл. № 12.

85. Муфта зчеплення інерційно-фрикційна конусна : пат. 70788 Україна, МПК (2012.01)F 16 D 13/00. / Малащенко В. О., Федорук В. А., Стрілець В. М., Стрілець О. Р.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201114477; заявл. 07.12.11; опубл. 25.06.12, Бюл. № 12.

86. Муфта зчеплення інерційно-фрикційна : пат. 71873 Україна, МПК (2012.01)F 16 D 13/00. / Малащенко В. О., Федорук В. А., Стрілець В. М., Стрілець О. Р.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201201464; заявл. 13.02.12; опубл. 25.07.12, Бюл. № 14.

87. Муфта зчеплення інерційно-фрикційна однодискова : пат. 71882 Україна, МПК (2012.01)F 16 D 13/00. / Малащенко В. О., Федорук В. А., Стрілець В. М., Стрілець О. Р.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201201506; заявл. 13.02.12; опубл. 25.07.12, Бюл. № 14.

88. Муфта зчеплення інерційно-фрикційна : пат. 71884 Україна, МПК (2012.01)F 16 D 13/00. / Малащенко В. О., Федорук В. А., Стрілець В. М., Стрілець О. Р.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201201535; заявл. 13.02.12; опубл. 25.07.12, Бюл. № 14.

89. Муфта зчеплення автоматична інерційно-фрикційна : пат. 71885 Україна, МПК (2012.01)F 16 D 13/00. / Малащенко В. О., Федорук В. А., Стрілець В. М., Малащенко В. В., Стрілець О. Р.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201201536; заявл.



13.02.12; опубл. 25.07.12, Бюл. № 14.

90. Муфта зчеплення інерційно-фрикційна здвоєна : пат. 72296 Україна, МПК (2012.01)F 16 D 13/00. / Малащенко В. О., Федорук В. А., Стрілець О. Р., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201201956; заявл. 21.02.12; опубл. 10.08.12, Бюл. № 15.

91. Стенд для дослідження інерційних муфт зчеплення : пат. 73156 Україна, МПК (2012.01)F 16 D 13/00. / Малащенко В. О., Стрілець В. М., Федорук В. А., Стрілець О. Р.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201203510; заявл. 23.03.12; опубл. 10.09.12, Бюл. № 17.

92. Стенд для дослідження інерційних муфт зчеплення : пат. 73576 Україна, МПК (2012.01)F 16 D 13/00. / Федорук В. А., Малащенко В. О., Стрілець О. Р., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201204279; заявл. 06.04.12; опубл. 25.09.12, Бюл. № 18.

93. Стенд для дослідження інерційних муфт зчеплення : пат. 74209 Україна, МПК (2012.01)F 16 D 13/00. / Стрілець В. М., Федорук В. А., Стрілець О. Р.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201204279; заявл. 06.04.12; опубл. 25.09.12, Бюл. № 18.

94. Пружна муфта : пат. 74313 Україна, МПК (2006.01)F 16 D 3/12. / Стрілець В. М., Малащенко В. О., Федорук В. А., Стрілець О. Р.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201203991; заявл. 02.04.12; опубл. 25.10.12, Бюл. № 20.

95. Пружна муфта : пат. 74314 Україна, МПК (2006.01)F 16 D 3/12. / Малащенко В. О., Федорук В. А., Стрілець О. Р., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201203993; заявл. 02.04.12; опубл. 25.10.12, Бюл. № 20.

96. Пружна муфта : пат. 74315 Україна, МПК (2006.01)F 16 D 3/12. / Федорук В. А., Малащенко В. О., Стрілець О. Р., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201203994; заявл.



02.04.12; опубл. 25.10.12, Бюл. № 20.

97. Відцентрова пружна канатна муфта з радіальними пружними елементами : пат. 75733 Україна, МПК (2012.01)F 16 D 3/56. / Федорук В. А., Малащенко В. О., Стрілець В. М., Стрілець О. Р.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201206845; заявл. 05.06.12; опубл. 10.12.12, Бюл. № 23.

98. Муфта інерційно-фрикційна пружна : пат. 76007 Україна, МПК (2012.01)F 16 D 3/56. / Федорук В. А., Малащенко В. О., Стрілець О. Р., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201205531; заявл. 07.05.12; опубл. 25.12.12, Бюл. № 24.

99. Пружна муфта : пат. 76013 Україна, МПК (2006.01)F 16 D 3/12. / Малащенко В. О., Федорук В. А., Стрілець О. Р., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201206560; заявл. 07.06.12; опубл. 25.12.12, Бюл. № 24.

100. Муфта інерційно-фрикційна пружна : пат. 76014 Україна, МПК (2012.01)F 16 D 13/00. / Стрілець В. М., Малащенко В. О., Федорук В. А., Стрілець О. Р.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201205563; заявл. 07.05.12; опубл. 25.12.12, Бюл. № 24.

101. Спосіб передачі обертального моменту муфтою : пат. 76015 Україна, МПК (2012.01)F 16 D 13/00. / Федорук В. А., Малащенко В. О., Стрілець О. Р., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201205563; заявл. 07.05.12; опубл. 25.12.12, Бюл. № 24.

102. Муфта інерційно регульована : пат. 76016 Україна, МПК (2012.01)F 16 D 13/00. / Федорук В. А., Малащенко В. О., Стрілець О. Р., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201205567; заявл. 07.05.12; опубл. 25.12.12, Бюл. № 24.

103. Муфта інерційно-пневматична реверсивна : пат. 76017 Україна, МПК (2012.01)F 16 D 13/00. / Малащенко В. О., Стрілець В. М., Федорук В. А., Стрілець О. Р.; заявник і власник



патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201205569; заявл. 07.05.12; опубл. 25.12.12, Бюл. № 24.

104. Муфта інерційно-відцентрова пружна : пат. 76586 Україна, МПК (2012.01) F 16 D 13/00. / Федорук В. А., Малащенко В. О., Стрілець В. М., Стрілець О. Р., Ковальчук Р. В.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201207435; заявл. 19.06.12; опубл. 10.01.13, Бюл. № 1.

105. Муфта запобіжна кульково-пружна : пат. 80881 Україна, МПК (2006.01) F 16 D 3/14. / Федорук В. А., Стрілець В. М., Федорук С. Л., Стрілець О. Р.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201300154; заявл. 03.01.13; опубл. 10.06.13, Бюл. № 11.

106. Муфта запобіжна кульково-пружна регульована : пат. 81976 Україна, МПК (2013.01) F 16 D 3/00. / Федорук В. А., Стрілець В. М., Стрілець О. Р., Федорук С. Л.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201302711; заявл. 04.03.13; опубл. 10.07.13, Бюл. № 13.

107. Автоматична інерційно-фрикційна муфта зчеплення Пат. 81977 Україна, МПК (2013.01) F 16 D 3/00. / Федорук В. А., Стрілець В. М., Стрілець О. Р., Федорук С. Л.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201302712; заявл. 04.03.13; опубл. 10.07.13, Бюл. № 13.

108. Муфта еластична : пат. 83064 Україна, МПК (2013.01) F 16 D 13/00. / Федорук В. А., Стрілець О. Р., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201302683; заявл. 04.03.13; опубл. 27.08.13, Бюл. № 16.

109. Самокерована інерційно-фрикційна муфта зчеплення транспортного засобу : пат. 83065 Україна, МПК (2013.01) F 16 D 13/00. / Федорук В. А., Малащенко В. О., Стрілець В. М., Стрілець О. Р.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201302685; заявл. 04.03.13; опубл. 27.08.13, Бюл. № 16.



110. Автоматична інерційно-фрикційна муфта зчеплення транспортного засобу : пат. 83066 Україна, МПК (2013.01) F 16 D 13/00. / Федорук В. А., Малащенко В. О., Стрілець В. М., Стрілець О. Р.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201302686; заявл. 04.03.13; опубл. 27.08.13, Бюл. № 16.

111. Пружна муфта : пат. 88380 Україна, МПК (2006.01) F 16 D 3/12. / Стрілець О. Р., Стрілець В. М., Федорук В. А., Завальський В. В.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201312675; заявл. 30.10.13; опубл. 11.03.14, Бюл. № 5.

112. Пат. 89302 Україна, МПК (2014.01) F 16 D 13/00. Муфта еластична [Текст] / Федорук В.А., Стрілець В.М., Стрілець О.Р.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201302683; заявл. 10.12.13; опубл. 10.04.14, Бюл. № 7.

113. Муфта запобіжна пружна : пат. 90178 Україна, МПК (2006.01) F 16 D 3/12. / Федорук В. А., Стрілець В. М., Стрілець О. Р.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201400028; заявл. 08.01.14; опубл. 12.05.14, Бюл. № 9.

114. Автоматична інерційно-фрикційна муфта зчеплення двопотокова МІФ-2ДП : пат. 90213 Україна, МПК (2014.01) F 16 D 13/38. / Малащенко В. О., Федорук В. А., Стрілець О. Р., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201400634 заявл. 23.01.14; опубл. 12.05.14, Бюл. №.

115. Муфта запобіжна пружна : пат. 90494 Україна, МПК (2006.01) F 16 D 3/12. / Федорук В. А., Стрілець В. М., Стрілець О. Р.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201400313; заявл. 15.01.14; опубл. 26.05.14, Бюл. № 10.

116. Автоматична інерційно-фрикційна муфта зчеплення двопотокова МІФ-3ДП : пат. 91293 Україна, МПК (2014.01) F 16 D 13/38. / Стрілець В. М., Федорук В. А., Малащенко В. О., Стрілець О. Р.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201401417 заявл. 13.02.14; опубл. 25.06.14, Бюл. № 12.



117. Автоматична інерційно-фрикційна муфта зчеплення двопотокова МІФ-1ДП : пат. 91509 Україна, МПК (2014.01) F 16 D 13/38. / Федорук В. А., Стрілець В. М., Малащенко В. О., Стрілець О. Р.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201400317 заявл. 15.01.14; опубл. 10.07.14, Бюл. № 13.

118. Пружна муфта : пат. 91799 Україна, МПК (2006.01) F 16 D 3/12. / Стрілець О. Р., Федорук В. А., Стрілець В. М., Завальський В. В.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201402648; заявл. 17.03.14; опубл. 10.07.14, Бюл. № 13.

119. Муфта еластична : пат. 94499 Україна, МПК (2014.01) F 16 D 3/74. / Федорук В. А., Стрілець О. Р., Козяр М. М., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201406923; заявл. 20.06.14; опубл. 10.11.14, Бюл. № 21.

120. Муфта запобіжна пружна : пат. 98075 Україна, МПК (2006.01) F 16 D 3/12 / Стрілець В. М., Стрілець О. Р., Козяр М. М., Федорук В. А.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201413238; заявл. 10.12.14; опубл. 10.04.15, Бюл. № 7.

121. Муфта запобіжна з складеною зіркоподібною пружиною : пат. 98076 Україна, МПК (2006.01) F 16 D 3/12 / Стрілець О. Р., Козяр М. М., Федорук В. А., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201413239; заявл. 10.12.14; опубл. 10.04.15, Бюл. № 7.

122. Спосіб виготовлення виступів складеної зіркоподібною пружини : пат. 98600 Україна, МПК (2006.01) F 16 F 1/02 / Стрілець О. Р., Стрілець В. М., Федорук В. А., Козяр М. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201414112; заявл. 29.12.14; опубл. 27.04.15, Бюл. № 8.

123. Муфта втулкова запобіжна пружна : пат. 99359 Україна, МПК (2006.01) F 16 F 3/12 / Стрілець В. М., Федорук В. А., Стрілець О. Р., Козяр М. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201500545; заявл. 23.01.15; опубл. 25.05.15, Бюл. № 10.



124. Муфта втулкова запобіжна пружна : пат. 99600 Україна, МПК (2006.01) F 16 D 3/12 / Стрілець О. Р., Федорук В. А., Стрілець В. М., Брошук Ю. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201500152; заявл. 12.01.15; опубл. 10.06.15, Бюл. № 11.

125. Муфта втулкова запобіжна пружна : пат. 99601 Україна, МПК (2006.01) F 16 D 3/12 / Федорук В. А., Стрілець В. М., Стрілець О. Р., Брошук Ю. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201500153; заявл. 12.01.15; опубл. 10.06.15, Бюл. № 11.

126. Муфта втулкова запобіжна пружна : пат. 99629 Україна, МПК (2006.01) F 16 D 3/12 / Стрілець О. Р., Федорук В. А., Стрілець В. М., Козяр М. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201500680; заявл. 26.01.15; опубл. 10.06.15, Бюл. № 11.

127. Спосіб виготовлення профільної втулки муфти втулкової запобіжної пружної : пат. 100218 Україна, МПК (2006.01) F 16 D 3/12 / Стрілець О. Р., Федорук В. А., Стрілець В. М., Брошук Ю. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201501838; заявл. 02.03.15; опубл. 10.07.15, Бюл. № 13.

128. Пристрій для виготовлення підковоподібних пружин : пат. 100220 Україна, МПК (2006.01) F 16 F 1/02 / Стрілець О. Р., Федорук В. А., Козяр М. М., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201501846; заявл. 02.03.15; опубл. 10.07.15, Бюл. № 13.

129. Пристрій для виготовлення профільної втулки муфти втулкової запобіжної пружної : пат. 100528 Україна, МПК (2006.01) F 16 D 3/12 / Федорук В. А., Стрілець О. Р., Козяр М. М., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201501798; заявл. 02.03.15; опубл. 27.07.15, Бюл. № 14.

130. Пристрій для виготовлення профільної втулки муфти втулкової запобіжної пружної : пат. 100532 Україна, МПК (2015.01) F 16 D 3/00 / Стрілець О. Р., Федорук В. А., Стрілець В. М.,



Козяр М. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201501843; заявл. 02.03.15; опубл. 27.07.15, Бюл. № 14.

131. Пристрій для виготовлення профільної втулки муфти втулкової запобіжної пружної : пат. 101062 Україна, МПК (2006.01) F 16 D 3/12 / Стрілець В. М., Федорук В. А., Стрілець О. Р., Брошук Ю. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201501816; заявл. 02.03.15; опубл. 25.08.15, Бюл. № 16.

132. Муфта запобіжна пружна : пат. 107981 Україна, МПК (2006.01) F 16 D 3/00 / Стрілець О. Р., Федорук В. А., Стрілець В. М., Лисанець О. В.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201600132; заявл. 24.01.16; опубл. 24.06.16, Бюл. № 2.

133. Вал карданної передачі : пат. 112527 Україна, МПК (2006.01) F 16 C 3/02 / Стрілець О. Р., Козяр М. М., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201605486; заявл. 11.05.16; опубл. 26.12.16, Бюл. № 24.

134. Вал карданної передачі : пат. 112548 Україна, МПК (2006.01) F 16 C 3/02 / Стрілець О. Р., Стрілець В. М., Брошук Ю. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201605133; заявл. 20.06.16; опубл. 26.12.16, Бюл. № 24.

135. Вал карданної передачі : пат. 112685 Україна, МПК (2006.01) F 16 C 3/26 / Стрілець О. Р., Стрілець В. М., Сенніков О. С., Бондарук А. А.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201606647; заявл. 22.06.16; опубл. 26.12.16, Бюл. № 24.

136. Вал карданної передачі Пат. 113007 Україна, МПК (2006.01) F 16 C 3/26 / Стрілець О. Р., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201606085; заявл. 05.06.16; опубл. 10.01.17, Бюл. № 1.

137. Вал карданної передачі : пат. 113584 Україна, МПК (2006.01) F 16 C 3/02 / Стрілець О. Р., Стрілець В. М., Сенніков О. С., Бондарук А. А.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201605639; заявл. 17.06.16; опубл. 10.02.17, Бюл. № 3.



138. Муфта еластична : пат.114037 Україна, МПК (2014.01) F 16 D 13/00. / Стрілець О. Р., Федорук В. А., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201609011; заявл. 25.08.16; опубл. 27.02.17, Бюл. № 4.

139. Муфта еластична : пат.114038 Україна, МПК (2014.01) F 16 D 13/00. / Федорук В. А., Стрілець О. Р., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201609012; заявл. 25.08.16; опубл. 27.02.17, Бюл. № 4.

140. Муфта еластична : пат.114046 Україна, МПК (2016.01) F 16 D 13/00. / Стрілець В. М., Стрілець О. Р., Федорук В. А.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201609012; заявл. 25.08.16; опубл. 27.02.17, Бюл. № 4.

141. Муфта еластична : пат.120532 Україна, МПК (2017.01) F 16 D 13/00. / Федорук В. А., Стрілець О. Р., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201609012; заявл. 25.08.16; опубл. 10.11.17, Бюл. № 21.

142. Пружне з'єднання валів на опорі : пат. 125585 Україна, МПК (2006.01) F 16 F 1/14 / Стрілець О. Р., Малащенко В. О., Стрілець В. М., Савлук А. П.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № у 201800076; заявл. 02.01.18; опубл. 10.05.18, Бюл. № 9.



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Наукове видання

***Малащенко Володимир Олександрович
Стрілець Володимир Миколайович
Стрілець Олег Романович
Федорук Віктор Анатолійович***

НОВІ МУФТИ МЕХАНІЧНИХ ПРИВОДІВ МАШИН

Монографія

Друкується в авторській редакції

Технічний редактор

Г. Ф. Сімчук

Підписано до друку 18.12.2018 р. Формат 60×84 ¹/₁₆.
Ум.-друк. арк. 11,0. Обл.-вид. арк. 11,5.
Тираж 300 прим. Зам. № 5400.

*Видавець і виготовлювач
Національний університет
водного господарства та природокористування
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028.*

*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до
державного реєстру видавців, виготівників і
розповсюджувачів видавничої продукції
РВ № 31 від 26.04.2005 р.*